

Economía circular y valorización de metales

**Residuos de aparatos
eléctricos y electrónicos**

Jacques Clerc
Ana María Pereira
Constanza Alfaro
Constanza Yunis



NACIONES UNIDAS

CEPAL



**cooperación
alemana**

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



www.cep.al.org/es/publications



www.cep.al.org/apps

Economía circular y valorización de metales

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos

Jacques Clerc
Ana María Pereira
Constanza Alfaro
Constanza Yunis



Este documento fue preparado por Jacques Clerc, Consultor de la Unidad de Políticas para el Desarrollo Sostenible de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en conjunto con Ana María Pereira, Constanza Alfaro y Constanza Yunis, bajo la supervisión de Mauricio Pereira y Carlos de Miguel, funcionarios de la Unidad de Políticas para el Desarrollo Sostenible. Contó además con los aportes de Karina Martínez, Asistente de Investigación de la misma Unidad; Maya Hirsch, Jefa de Proyectos del Área de Sustentabilidad de la Fundación Chile, y Stefania De Santis. El documento se realizó en el marco de las actividades del programa Cooperación Regional para la Gestión Sustentable de los Recursos Mineros en los Países Andinos (MinSus) de la CEPAL, la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR).

Se agradecen los valiosos aportes y comentarios recibidos durante la presentación preliminar de resultados en el taller “Reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, valorización de metales y su relación con la actividad extractiva”, realizado el 5 de noviembre de 2019.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Los límites y los nombres que figuran en cualquier mapa que se incluya en este documento no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas
ISSN: 1680-8886 (versión electrónica)
ISSN: 1564-4189 (versión impresa)
LC/TS.2021/151
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2021
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.21-00496

Esta publicación debe citarse como: J. Clerc y otros, “Economía circular y valorización de metales: residuos de aparatos eléctricos y electrónicos”, *serie Medio Ambiente y Desarrollo*, N° 171 (LC/TS.2021/151), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción.....	9
I. Potencialidad de reciclaje a nivel internacional	13
A. Definición de Artefactos Eléctricos y Electrónicos (AEE).....	13
B. Casos de éxito	14
1. Marco normativo	14
2. Caracterización del Sistema de Gestión de RAEE.....	22
3. Tratamiento y valorización	36
4. RAEE generados y tendencias	43
C. Resumen	45
II. Comparación entre valorización y extracción minera en los Países Andinos	49
A. Recuperación de metales por tonelada de Residuos de Aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	49
B. Comparación de costos entre extracción minera y valorización de RAEE	53
C. Análisis de escenarios para países Andinos	54
1. Metodología	54
2. Resultados de evaluación de escenarios	60
D. Inversiones.....	71
E. Minería extractiva versus reciclaje	71
F. Generación de valor agregado.....	72
G. Resumen	73

III. Impactos socioambientales de la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en los países Andinos	79
A. Impactos por decrecimiento de descarga de contaminantes	80
B. Impacto social y disminución de efectos en la salud	80
C. Impactos en la comunidad	81
D. Resumen	81
IV. Condiciones necesarias para que se implemente la gestión de RAEE en los países Andinos	83
A. Inclusión de la Ley REP en los marcos normativos	83
B. Responsabilidades de los actores involucrados	84
C. Metas de recolección	84
D. Mecanismo de financiamiento	85
1. Recolección y almacenamiento	85
2. Transporte y logística	86
3. Reúso	86
4. Reciclaje	86
5. Disposición final	87
V. Conclusiones	89
Bibliografía	93
Serie Medio Ambiente y Desarrollo: números publicados	101

Cuadros

Cuadro 1	Categorías usuales de clasificación de AEE	9
Cuadro 2	Valores máximos y mínimos de generación de RAEE 2019 por habitante según continente	11
Cuadro 3	Generación de RAEE en América Latina y el Caribe, año 2019	11
Cuadro 4	Categorización AEE en la UE, según directiva RAEE de 2012	13
Cuadro 5	Resumen países analizados	14
Cuadro 6	Sistema suizo de gestión de RAEE: actores principales, sus roles y responsabilidades	16
Cuadro 7	Roles de actores en sistema de gestión de RAEE en Japón	20
Cuadro 8	Sistema legal de reciclaje de productos individuales en Japón	21
Cuadro 9	Comparación leyes de reciclaje electrodomésticos	21
Cuadro 10	Valor mínimo y máximo ARF por producto de cada categoría – SENS	24
Cuadro 11	Valor mínimo y máximos – SWICO	25
Cuadro 12	Cantidades registradas de RAEE recolectados por principales sistemas posconsumo desde el año 2012	27
Cuadro 13	Recolección de RAEE por los canales oficiales para el año 2018	29
Cuadro 14	Costo de los tickets por unidad de electrodoméstico	33
Cuadro 15	Tasas de reciclaje de la ley de reciclaje de Japón	36
Cuadro 16	Elementos presentes en RAEE	39
Cuadro 17	Capacidad operativa y gestores de RAEE, 2018	40
Cuadro 18	Tasas de reciclaje, 2015-2017	45
Cuadro 19	Número de residuos de electrodomésticos recolectados en sitios designados en Japón, año 2017	45
Cuadro 20	Principales aspectos de las normativas de Suiza, Colombia y Japón	46

Cuadro 21	Sistemas de gestión de RAEE en Suiza, Colombia y Japón	47
Cuadro 22	Composición media de material por categoría de colección.....	50
Cuadro 23	Tasa porcentual de recuperación y valor medio del material recuperado	51
Cuadro 24	Costos netos de tratamiento de RAEE por categoría.....	52
Cuadro 25	Costo operacional promedio por país.....	53
Cuadro 26	Relación producción minera, demanda y aplicación de metales en aparatos eléctricos y electrónicos	54
Cuadro 27	Valor potencial de las materias primas de los RAEE en 2016	54
Cuadro 28	Cantidad de RAEE máxima posible de recolectar en la práctica.....	59
Cuadro 29	Tasa de recolección de RAEE en Chile, Escenarios 1,2 y 3.....	59
Cuadro 30	Tasa de recolección de RAEE, Colombia, Escenarios 1,2 y 3	59
Cuadro 31	Tasa de recolección de RAEE, Perú, Escenario 1, 2 y 3.....	59
Cuadro 32	Metas de recolección aplicadas en la UE, Japón y Colombia.....	60
Cuadro 33	Tasas de crecimiento anuales de generación de RAEE: 2020-2030.....	63
Cuadro 34	Tasa de recolección de RAEE – Chile 2017.....	63
Cuadro 35	Tasa de recolección de RAEE – Colombia 2018	63
Cuadro 36	Tasa de recolección de RAEE – Perú 2018	64
Cuadro 37	Tasas de recolección global según escenario y país.....	65
Cuadro 38	Costo neto según escenario y país	66
Cuadro 39	Costo neto según país y escenario, período 2020-2030	66
Cuadro 40	Valor presente de costos de gestión de RAEE según país y escenario.....	67
Cuadro 41	Desglose de los componentes de RAEE recolectados según escenario y país para el período 2020-2030.....	67
Cuadro 42	Valorización de RAEE recolectados según escenario y país para el período 2020-2030	68
Cuadro 43	Empleos derivados de principales actividades en la gestión de RAEE.....	69
Cuadro 44	Nuevos empleos a partir de reciclaje de materiales, en el Reino Unido.....	70
Cuadro 45	Creación de empleos según escenario y país.....	70
Cuadro 46	Costo de inversión de nueva capacidad en pretratamiento, Chile.....	71
Cuadro 47	Costo de inversión de nueva capacidad en pretratamiento, Colombia y Perú.....	71
Cuadro 48	Costos netos de tratamiento de metales versus costos de extracción primaria	72
Cuadro 49	Consumo de AEE y generación de RAEE, años 2020 y 2030, Chile, Perú y Colombia.....	74
Cuadro 50	Consumo de AEE y generación de RAEE per cápita, años 2020 y 2030, Chile, Perú y Colombia.....	74
Cuadro 51	Valor presente de costos de gestión de RAEE según país y escenario.....	75
Cuadro 52	Creación de empleos año 2030, según escenario y país	77
Cuadro 53	Riesgos para la salud por manipulación de RAEE	81
Cuadro 54	Responsabilidades de actores involucrados en el sistema de gestión de RAEE	84

Gráficos

Gráfico 1	Crecimiento de las metas de recolección, período 2012-2018	30
Gráfico 2	Composición de las fracciones de RAEE generados el 2017	38
Gráfico 3	Materiales, aparatos y partes recuperadas y exportadas por los gestores de RAEE en Colombia	40
Gráfico 4	Generación de RAEE totales y por habitante, año 2016.....	43
Gráfico 5	Transición de la tasa de reciclaje	44

Gráfico 6	Consumo de AEE período 2016-2030 en Chile, Perú y Colombia	61
Gráfico 7	Consumo per cápita de AEE, período 2016-2030 en Chile, Perú y Colombia	61
Gráfico 8	Generación de RAEE período 2016-2030, Chile, Perú y Colombia.....	62
Gráfico 9	Generación de RAEE per cápita, período 2016-2030, Chile, Perú y Colombia	62
Gráfico 10	RAEE recolectados según escenarios en Chile.....	64
Gráfico 11	RAEE recolectados según escenarios en Colombia	64
Gráfico 12	RAEE recolectados según escenarios en Perú	65
Gráfico 13	Distribución porcentual de materiales según escenario y país	68
Gráfico 14	Distribución porcentual de materiales, escenario 3	75
Gráfico 15	Beneficios económicos de la valorización de materiales, período 2020-2030, escenario 1	76
Gráfico 16	Desglose de beneficios económicos según componentes, Chile escenario 1, año 2030	77

Diagramas

Diagrama 1	Colaboraciones entre entidades públicas y económicas en la ordenanza y sus respectivas tareas	15
Diagrama 2	Objetivos de la política nacional para la gestión de los RAEE, Colombia.....	19
Diagrama 3	Flujos de residuos y roles de los interesados en relación con la Ley de reciclaje de electrodomésticos	20
Diagrama 4	Sistemas de gestión de RAEE en Suiza	23
Diagrama 5	Esquema de recolección de Japón	34
Diagrama 6	Participación Grupo A y B en el sistema de reciclaje de RAEE en Japón.....	35
Diagrama 7	Proceso de tratamiento y aprovechamiento	39
Diagrama 8	Ejemplos de la composición de teléfonos, PC y <i>laptops</i> y el impacto en la demanda de metales	50
Diagrama 9	Metodología evaluación de escenarios de reciclaje	55

Mapas

Mapa 1	Generación de RAEE por continente año 2019	10
Mapa 2	Puntos de recolección SWICO	26
Mapa 3	Puntos de recolección SENS, ejemplo ciudad de Zúrich	27
Mapa 4	Cobertura sistema RAEE en Colombia	30
Mapa 5	Ubicación plantas de tratamiento de RAEE en Suiza.....	37
Mapa 6	Ubicación plantas de tratamiento de RAEE en Colombia	41

Imágenes

Imagen 1	Ejemplo de <i>tickets</i> utilizados en el sistema de reciclaje japonés bajo la <i>Home Appliances Recycling Law</i>	34
----------	---	----

Resumen

Dentro de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) es posible encontrar componentes que incluyen metales como cobre, oro y plata, que pueden ser reutilizados como materia prima y minimizar la extracción de materiales provenientes de la minería tradicional. El tratamiento y la valorización de los RAEE en cada país está directamente relacionado al tipo de tecnología disponible. Por ello, es relevante asegurar mínimos viables que garanticen la adquisición de tecnologías que permitan su valorización.

En 2019 alrededor del 17% de los RAEE del mundo fueron recolectados y tratados adecuadamente. El 83% restante presentó incertidumbre sobre su disposición y estándares de reciclado. Seis países de la región cuentan con algún tipo de mecanismo legal vinculado a los RAEE. Brasil, Chile y Colombia tienen leyes REP que contemplan metas de reducción, mientras que el resto cuenta con proyectos de ley en evaluación o con decretos.

La evaluación de distintos escenarios de reciclaje para los países estudiados (Chile, Colombia y Perú) permitió contrastar la generación de RAEE. En promedio, la tasa de crecimiento anual de RAEE para los tres países es de 3,4%. Mientras que las tasas estimadas de reciclaje son de: 3,8% para Chile (año 2017), 4,1% para Perú (año 2018) y 3,5% para Colombia (año 2018).

El establecimiento de metas de reciclaje requiere necesariamente de inversión para la construcción y habilitación de plantas de pretratamiento. Al comparar el beneficio neto entre el reciclaje de los RAEE y los costos de extracción primaria en minería, se identifican tres casos en los que el reciclaje resulta ser una mejor opción: i) todos los metales de la categoría de "Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños", ii) el cobre en la categoría de "Grandes Aparatos" y iii) el aluminio y cobre en la de "Pequeños Aparatos".

La literatura estima que por cada 1.000 toneladas de RAEE reciclados por año, se generan 40 empleos relacionados a labores de recolección, transporte, almacenamiento, pretratamiento, tratamiento, medición y control, entre otros.

Introducción

Los residuos electrónicos son aquellos que comprenden “todos los elementos de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) o de sus componentes, que hayan sido desechados por sus propietarios como desperdicios sin ánimo de reutilizarlos” (*Step Initiative*, 2014). Comúnmente para referirse a estos desechos se habla de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Estos flujos de desechos sólidos están entre los de más rápido crecimiento en el mundo, lo que se puede atribuir a las continuas innovaciones tecnológicas, a los ciclos cortos de vida de los aparatos y a la creciente demanda de los consumidores (Johnson y Fitzpatrick, 2014). Por consiguiente, el creciente uso de equipos de Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) que se convierten en desechos después de un tiempo de uso o al final de su vida útil, está llevando a una rápida proliferación de desechos electrónicos. Los AEE suelen clasificarse en seis categorías que se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1
Categorías usuales de clasificación de AEE

Categoría de AEE	Ejemplos
Aparatos de intercambio de temperatura (equipos de refrigeración y congelación)	Refrigeradores, congeladores, equipos de aire acondicionado, bombas de calor.
Monitores y pantallas	Televisores, monitores, computadores portátiles, <i>tablets</i> .
Lámparas	Lámparas fluorescentes, descarga, LED.
Grandes aparatos	Lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas eléctricas, fotocopiadoras, grandes impresoras, paneles fotovoltaicos.
Pequeños aparatos	Aspiradoras, hornos microondas, tostadoras, hervidores eléctricos, afeitadoras eléctricas, calculadoras, aparatos de radio, cámaras, juguetes eléctricos y electrónicos, pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, pequeños dispositivos médicos, pequeños instrumentos de supervisión y control.
Pequeños aparatos de TI	Teléfonos móviles, dispositivos del sistema mundial de determinación de posición (GPS), calculadoras de bolsillo, las computadoras personales, impresoras, teléfonos.

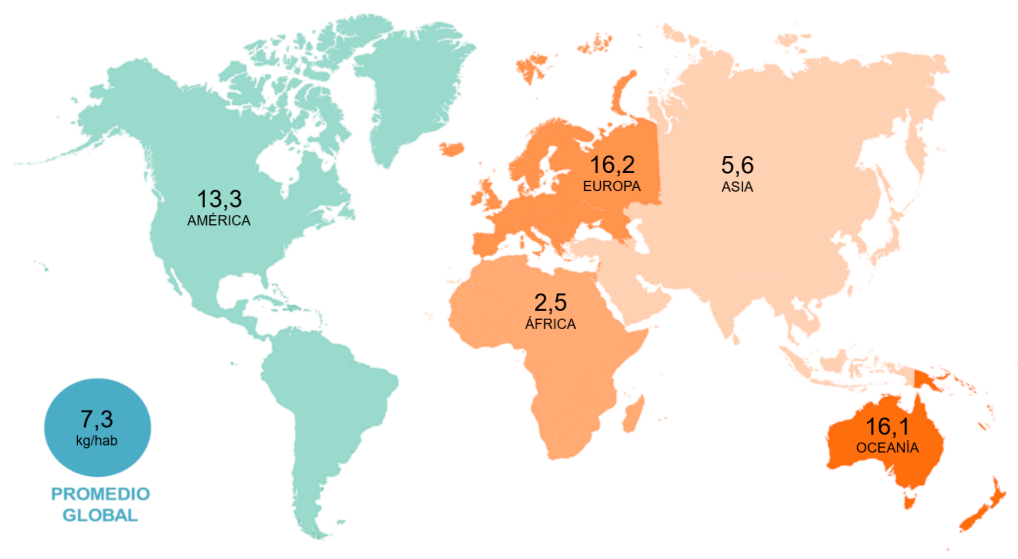
Fuente: Forti et al, 2020.

De acuerdo con el Observatorio Mundial de Residuos Electrónicos 2020, en 2019 se generaron 53,6 millones de toneladas métricas (Mt) de residuos electrónicos en el mundo, equivalentes a una generación de RAEE promedio mundial de 7,3 kg/habitante a dicho año entre países desarrollados y países menos desarrollados. De estos RAEE sólo se recicló el 17,4% a través de canales adecuados (Forti et al, 2020).

La baja tasa de reciclaje representa una problemática a nivel mundial. Por ello, reciclar los desechos electrónicos se transforma tanto en una necesidad como en una herramienta útil para la recuperación de una variedad de materiales. Lo anterior es fundamental ya que, por un lado, es importante abordar la escasez de recursos minerales para la industria electrónica y por el otro, es necesario disminuir la contaminación ambiental y el riesgo para la salud humana que estos residuos generan (Zeng et al, 2016).

Los principales determinantes de la generación total de residuos electrónicos para los países son: población y poder adquisitivo. La mayor parte de los residuos electrónicos generados provienen de Asia, con un total aproximado de 24,9 Mt. Seguido se encuentran América¹ y Europa, con 13,1 Mt y 12,0 Mt respectivamente. Este orden difiere al evaluar la cantidad de RAEE por habitante, identificando a Europa con la mayor tasa por habitante, con 16,2 kg/hab, seguido por Oceanía y América, con 16,1 y 13,3 kg/hab, respectivamente. El mapa 1 presenta la tasa media de generación de residuos por habitante para todos los continentes.

Mapa 1
Generación de RAEE por continente año 2019
(En kilogramos por habitante)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Forti et al, 2020.

A su vez, la tasa de generación de residuos electrónicos varía de manera importante entre países y el ingreso explica de manera importante estas diferencias. El país que más residuos generó por habitante fue Noruega, con 26,0 kg/hab, mientras que los que menos generaron fueron algunos países de África² con 0,5 kg/hab. En el cuadro 2 se observan las diferencias entre los valores máximos y mínimos

¹ Se incluyen los 35 países del continente (América del Norte, América Central y América del Sur).

² Guinea-Bissau, Sierra Leona, República Centroafricana, Mozambique, Níger, Burundi y Malawi.

de RAEE generados en los países de cada continente. El continente con más diferencia es Oceanía, donde la tasa máxima de generación es alrededor de 27 veces el valor de la mínima.

Cuadro 2
Valores máximos y mínimos de generación de RAEE 2019 por habitante según continente
(En kilogramos por habitante)

Valor	Américas ^a	África ^b	Europa ^c	Asia ^d	Oceanía ^d
Mínimo (kg/hab)	2,5	0,5	4,0	0,6	0,8
Máximo (kg/hab)	21,0	12,6	26,0	20,4	21,7

Fuente: Forti et al , 2020.

^a Valor máximo y mínimo para Estados Unidos y Nicaragua respectivamente.

^b Valor máximo y mínimo para Seychelles y un grupo de países que incluyen Guinea-Bissau, Sierra Leona, República Centroafricana, Mozambique, Níger, Burundi y Malawi respectivamente.

^c Valor máximo y mínimo para Noruega y República de Moldova respectivamente.

^d Valor máximo y mínimo para Japón y Afganistán respectivamente.

^e Valor máximo y mínimo para Australia e Islas Salomón respectivamente.

En el cuadro 3 se presentan los valores de generación de RAEE para veintitres países de América Latina y el Caribe. Como se observa, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Bahamas presentan la menor y mayor tasa de generación por habitante con valores de 3,6 kg/hab y 17,2 kg/hab, respectivamente.

Cuadro 3
Generación de RAEE en América Latina y el Caribe, año 2019

País/Economía	RAEE/hab (kg/hab)	RAEE generados (kt)	Reglamento nacional en vigor
Argentina	10,3	465	Sí
Bahamas	17,2	6,6	No
Barbados	12,7	3,6	No
Bolivia (Estado Plurinacional de)	3,6	41	Sí
Brasil	10,2	2 143	No
Chile	9,9	186	Sí
Costa Rica	10,0	51	Sí
Colombia	6,3	318	Sí
Dominica	7,9	0,6	No
Ecuador	5,7	99	Sí
Guatemala	4,3	75	No
Guyana	6,3	5	No
Granada	8,8	1,0	No
Jamaica	6,2	18	No
Paraguay	7,1	51	No
Perú	6,3	204	Sí
República Dominicana	6,4	67	No
San Vicente y las Granadinas	8,3	0,9	Sí
Santa Lucía	9,7	1,7	No
Surinam	9,4	5,6	No
Trinidad y Tobago	15,7	22	No
Uruguay	10,5	37	No
Venezuela (República Bolivariana de)	10,7	300	No
América Latina y el Caribe	8,8	4 102	-

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Forti et al, 2020.

Las tendencias actuales indican que los residuos electrónicos aumentarán durante los próximos años a una tasa promedio de 3,1%. De este modo, se prevé una generación de 74,7 Mt en 2030, equivalentes a una tasa de generación anual agregada de 9,0 kg/hab (Forti et al, 2020). Estas tasas varían en cada continente, por ejemplo, en América se estima una tasa de crecimiento del 6% para residuos eléctricos y electrónicos (UNU-IAS, 2015).

Existe gran heterogeneidad entre las distintas regulaciones internacionales, en los artículos afectos a éstas y en las acciones que cada una exige. A octubre de 2019, el 71% de la población mundial se hallaba al amparo de políticas, leyes o reglamentos nacionales en materia de residuos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, tal como indica Forti et al. (2020), esta cobertura demográfica abarca tan solo a 78 de los 193 países y se estima que un 82,6% de los residuos generados en el año 2019 no ha sido recogido formalmente, ni se ha gestionado de una manera ambientalmente racional.

Esta situación evidencia la necesidad de contar con información adecuada que permita la formulación y el seguimiento de las políticas públicas de los países. Los aparatos eléctricos y electrónicos están compuestos de materiales diferentes, tanto valiosos como potencialmente peligrosos. En este sentido, oro, plata, paladio y cobre son algunos de los materiales valiosos que se pueden recuperar de los RAEE; en cambio plomo, cadmio, mercurio y arsénico son algunos de los componentes peligrosos que pueden estar presentes en los equipos en desuso y generar consecuencias negativas al ser liberados al medio ambiente durante su desensamble.

Un ejemplo de compuesto peligroso es el plomo que está presente en la soldadura de muchos equipos (MAVDT, 2010a). Por ejemplo, en un teléfono móvil, es posible encontrar materiales de alto valor junto con elementos potencialmente peligrosos. Éstos son la causa de los impactos negativos que se generan al medio ambiente cuando se disponen en rellenos sanitarios, se botan a los suelos o cuerpos de agua o se realiza su desensamble inadecuado. Cabe destacar que en algunos países en vía de desarrollo existe una fuerte lucha por los materiales de alto valor económico que componen los RAEE pero se combina con un fuerte desconocimiento del manejo apropiado de estos materiales (MAVDT, 2010a).

I. Potencialidad de reciclaje a nivel internacional

A. Definición de Artefactos Eléctricos y Electrónicos (AEE)

En el marco internacional, los AEE se clasificaron, por primera vez, en la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos de la Unión Europea (UE) de 2002 (Directiva 2002/96/CE) en 10 categorías que incluyen: i) Grandes electrodomésticos (GAE), ii) Pequeños electrodomésticos, iii) Equipos informáticos y telecomunicaciones, iv) Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos, v) Aparatos de alumbrado (excepto luminarias domésticas), vi) Herramientas eléctricas electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura), vii) Juguetes o equipos deportivos y de ocio, viii) Productos sanitarios (con excepción de todos los productos implantados e infectados), ix) Instrumentos de vigilancia y control y x) Máquinas expendedoras. En 2012, esta Directiva fue sustituida por la Directiva 2012/19/UE que modificó la agrupación de los AEE en 6 categorías en lugar de 10, tal como se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4
Categorización AEE en la UE, según Directiva RAEE de 2012

Categorías	AEE considerados en la categoría
1. Aparatos de intercambio de temperatura	Neveras, congeladores, aparatos que suministran automáticamente productos fríos, aparatos de aire acondicionado, equipos de deshumidificación, bombas de calor, radiadores de aceite y otros aparatos de intercambio de temperatura que utilicen fluidos diferentes al agua.
2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ²	Pantallas, televisores, marcos digitales para fotos con tecnología LCD, monitores, computadores portátiles, incluidos los de tipo notebook y tabletas.
3. Lámparas	Lámparas fluorescentes rectas, fluorescentes compactas y fluorescentes; lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las de sodio de presión y las de haluros metálicos; lámparas de sodio de baja presión y lámparas LED.
4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm)	Lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas, cocinas y hornos eléctricos, hornillos eléctricos, placas de calor eléctricas, luminarias; aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música (excepto los órganos de tubo instalados en iglesias), máquinas de hacer punto y tejer, grandes ordenadores, grandes impresoras, copiadoras, grandes máquinas tragamonedas, productos sanitarios de grandes dimensiones, grandes instrumentos de vigilancia y control, grandes aparatos que suministran productos y dinero automáticamente, paneles fotovoltaicos.

Categorías	AEE considerados en la categoría
5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm)	Aspiradoras, máquinas de coser, luminarias, hornos microondas, aparatos de ventilación, planchas, tostadoras, cuchillos eléctricos, hervidores eléctricos, relojes, maquinillas de afeitarse eléctricas, básculas, aparatos para el cuidado del pelo y el cuerpo, calculadoras, aparatos de radio, videocámaras, aparatos de grabación de vídeo, cadenas de alta fidelidad, instrumentos musicales, aparatos de reproducción de sonido o imagen, juguetes eléctricos y electrónicos, artículos deportivos, ordenadores para practicar ciclismo, submarinismo, carreras, remo, etc., detectores de humo, reguladores de calefacción, termostatos, pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, pequeños productos sanitarios, pequeños instrumentos de vigilancia y control, pequeños aparatos que suministran productos automáticamente, pequeños aparatos con paneles fotovoltaicos integrados.
6. Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)	Teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, encaminadores, ordenadores personales, impresoras, teléfonos.

Fuente: Directiva 2012/19/UE, 2012.

B. Casos de éxito

En esta sección se describen las experiencias de Suiza, Colombia y Japón, caracterizados por alcanzar altos niveles de desarrollo en la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en sus respectivas regiones. El cuadro 5 resume algunas de sus principales características.

Cuadro 5
Resumen países analizados

País ^a	Suiza	Colombia	Japón
Continente	Europa	América del Sur	Asia
Población (millones)	8,52	49,65	126,5
PIB (MM USD)	705,5	330,2	4 971
PIB per cápita (USD)	83 580	6 190	41 340
Año inicio legislación	1998	2010	1998
Generación RAEE (miles de ton)	184	275	2.139
Generación RAEE (kg RAEE/hab)	22,2	5,6	16,9
Gastos totales (MM USD) ^b	64,08	S/I	S/I

Fuente: Elaboración propia sobre la base del Banco Mundial, 2018 y Baldé C. P. *et al.*, 2017.

^a Las variables de población, PIB, PIB per cápita y generación de RAEE corresponden al año 2016.

^b Se consideran los costos 2018 para ambos sistemas. Para SWICO los costos se asocian a: reciclaje, logística, colección, *packaging*, baterías VEG, monitoreo, PR/Publicidad y Administración. Para SENS *eRecycling* los gastos totales se asocian a los del sistema de recaudación (recaudación, transporte, reciclaje, Estándares -WEEELABEX, CENELEC, ISO-, Comprobaciones de recogida, desmontaje y reciclaje, verificaciones del fabricante/importador, análisis de la canasta de mercado, campaña publicitaria) y a los de oficina central.

A continuación, se describen el marco normativo y los sistemas de gestión de RAEE de cada uno de los países en estudio.

1. Marco normativo

a) Suiza

Suiza se ha destacado como pionera en el desarrollo de un sistema de gestión³ de RAEE y es uno de los pocos países con más de dos décadas de experiencia en el manejo de estos residuos. El sistema de gestión suizo se sustenta en la política de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), en la cual la responsabilidad de los

³ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017: "un Sistema de Gestión de RAEE será entendido como el conjunto de actividades desarrolladas por el productor de aparatos eléctricos y electrónicos para garantizar la recolección y manejo integral y ambientalmente seguro de los RAEE, con el fin de prevenir y controlar los impactos a la salud y el ambiente".

productores, importadores y distribuidores está extendida a la etapa post consumo del ciclo de vida de los productos y, especialmente, a su recuperación, reciclaje y disposición final.

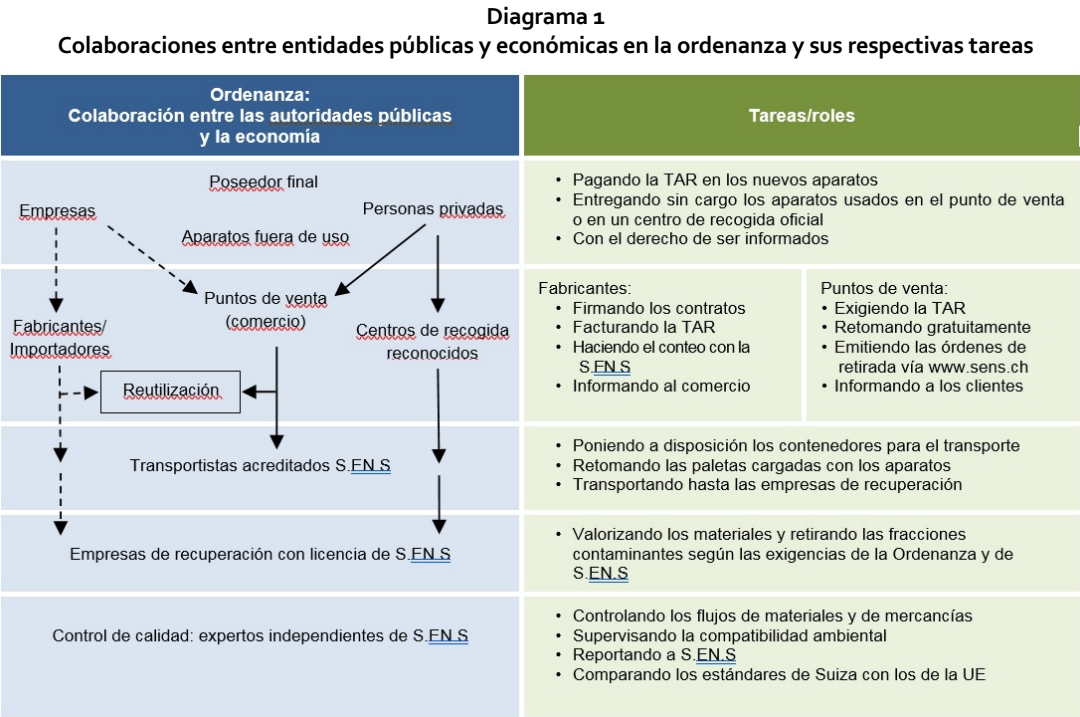
Si bien el país se encuentra rodeado de estados pertenecientes a la Unión Europea, legislados bajo la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (Directiva 2012/19/UE)⁴, no siendo miembro de la UE o del Espacio Económico Europeo (EEA por sus siglas en inglés), no está obligado a seguir la política mencionada.

La gestión de los residuos en Suiza ha evolucionado paulatinamente hacia el marco regulatorio para la implementación de una Ley REP. Las primeras normativas respecto al manejo de los residuos en el país se remontan al año 1983 con la Ley de Protección del Medio Ambiente. Posteriormente, se establecieron otras legislaciones como: el Decreto sobre el Transporte de Bienes Peligrosos en 1985, el Decreto sobre los Movimientos de Residuos Especiales en 1986, el Decreto Técnico Sobre Residuos en 1990. Además, en 1992 entró en vigor el Convenio de Basilea y en 1998 se promulgó el Decreto sobre la Devolución, la Recolección y la Disposición final de AEE (VREG por sus siglas en alemán) (AMPHOS, 2015).

La actual normativa aplicada en el país para la gestión de RAEE es la VREG, que establece el marco legal en el cual se desarrolla el sistema de gestión de los equipos eléctricos y electrónicos fuera de uso. De acuerdo a la normativa, los productores y comerciantes están obligados a recoger y tratar los RAEE de forma gratuita, entregándolos a una empresa de reciclaje para su correcta gestión (AMPHOS, 2015).

Esta regulación aborda todos los aspectos de la gestión de los residuos al final de su vida útil, incluyendo las responsabilidades de devolución, la obligación de los comerciantes y fabricantes, la obligación y el requisito de eliminación de residuos, así como también el requisito del movimiento transfronterizo de RAEE (Khetriwal, Kraeuchi y Widmer, 2009).

En el diagrama 1 se describen las responsabilidades y tareas que posee cada uno de los actores del decreto.



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Área de Medio Ambiente y Paisaje Tenerife, 2011.

⁴ Para más información, véase: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32012L0019>.

La normativa basa su operación en aspectos relevantes, como:

- La obligación de los consumidores a devolver sus equipos en desuso a distribuidores, productores o importadores.
- La obligación de las empresas de *retail* o productores de aceptar los RAEE, independientemente de si los productos se compraron allí o no, o si los clientes reemplazan el RAEE comprando un nuevo producto o no.
- La prohibición de eliminar desechos electrónicos incluidos en la VREG, en los vertederos.
- La exigencia de que quienes realicen el proceso de desmantelamiento y separación para la reutilización sean recicladores autorizados.

La legislación suiza no define la forma en que la industria debe llevar a cabo su responsabilidad de manejar y financiar el sistema de reciclaje de RAEE. En forma general, los actores involucrados y su rol en el funcionamiento del sistema de gestión se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6
Sistema suizo de gestión de RAEE: actores principales, sus roles y responsabilidades

Actor	Roles y responsabilidades
Entidades de Gobierno	El gobierno federal desempeña el rol de supervisor, marcando las pautas básicas y la legislación. Las autoridades participan en el control y monitoreo general del sistema de manejo de RAEE.
Empresas manufactureras, importadores y Organizaciones de Responsabilidad del Productor	Los fabricantes e importadores tienen la responsabilidad económica y física de sus productos. Las Organizaciones de Responsabilidad del Productor (PROs por sus siglas en inglés) son organizaciones sin fines de lucro que administran las operaciones diarias del sistema, incluida la fijación de tarifas de reciclaje, así como licencias y auditorías de recicladores.
Distribuidores y empresas de retail	Los distribuidores y empresas de <i>retail</i> están obligados a recuperar los productos en las categorías que venden, independientemente de si el producto fue vendido por ellos o si el consumidor compró un producto similar en reemplazo. También son responsables de controlar el valor de la tarifa ARF (<i>Advanced Recycling Fee</i> o Tasa Anticipada de Reciclaje) o en las boletas de los consumidores.
Consumidores	Los consumidores son responsables y están obligados por ley a devolver los dispositivos desechados a los minoristas o puntos de recogida designados de forma gratuita. Los consumidores tienen la responsabilidad financiera a través del ARF de los productos nuevos que adquieran.
Recicladores	Los recicladores deben cumplir con las normas mínimas de emisiones y tomar las medidas de seguridad adecuadas con respecto a la salud de los empleados. Las autorizaciones de las instalaciones de reciclaje para operar son otorgadas por el gobierno cantonal ^a y autorizadas por las PROs.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Goodship, Stevels y Huisman, 2019.

^a Gobierno o nivel cantonal: nivel de administración político de Suiza, cada cantón posee una constitución, un parlamento, un gobierno y tribunales propios.

El modelo de gestión suizo permite que cada sector productivo pueda decidir por sí mismo cómo establecer su sistema de reciclaje (Goodship, Stevels y Huisman, 2019). Por una parte, los usuarios son obligados a devolver los aparatos fuera de uso, mientras que, por otra parte, las empresas de *retail* deben recuperar cualquier aparato sin un pago de por medio (BAFU, 2019).

A su vez, la normativa establece que los municipios no tienen la obligación legal de recoger los RAEE, por lo que no están obligados a facilitar puntos de recogida ni otras instalaciones. Aunque las autoridades locales pueden hacerlo voluntariamente, a sabiendas de que los aparatos eléctricos y electrónicos no se pueden recoger junto a los residuos voluminosos y que en el reglamento se establece que los costos de eliminación de estos aparatos deben ser financiados por los agentes del mercado (ACRR, 2007)⁵.

⁵ ACRR= Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje, Bélgica.

De acuerdo con la Oficina Federal de Medio Ambiente del país (BAFU, 2019a), los equipos considerados en la ley VREG son:

- Dispositivos electrónicos de consumo.
- Dispositivos de oficina, tecnología de la información y la comunicación.
- Refrigeradores.
- Electrodomésticos.
- Herramientas (se excluyen grandes herramientas industriales fijas).
- Equipamiento deportivo y de ocio y juguetes.
- Lámparas y bombillas.

b) Colombia

El contexto normativo de Colombia respecto a los RAEE ha contado con un acompañamiento internacional que ha jugado un papel importante en los avances de la gestión de residuos sólidos. Destaca en este sentido la cooperación bilateral con Suiza, en específico, Colombia participó en el programa *Waste recycling Latin-America*, ejecutado por el Instituto Federal Suizo de Ciencias de Materiales y Tecnologías (EMPA por sus siglas en alemán), cuyo programa inició el año 2007 con una fase de diagnóstico, para luego, entre 2009 y 2012, ejecutar una fase de implementación que incluyó como línea de acción el desarrollo de un marco legal de base para el diseño, creación y operación de un sistema integrado de gestión de los RAEE (SRI - *Sustainable Recycling Industries*, 2017).

Bajo el acompañamiento de la institución suiza EMPA y del Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPML) de Colombia, en 2008 comenzó a operar el “Proyecto Integrado de Reacondicionamiento y Reciclaje de RAEE en Colombia”, que buscó apoyar la creación de un sistema de gestión nacional de RAEE y creó un comité técnico nacional integrado por diferentes entidades de los sectores público y privado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019a).

En 2010 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) de Colombia promulgó dos resoluciones para la gestión de RAEE, las cuales se describen a continuación⁶:

i) **Resolución 1512 - Sistemas de Recolección Selectiva (SRS) y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores** (MAVDT, 2010c)

Tiene como objetivo establecer, a cargo de los productores de computadores y/o periféricos que se comercializan en el país, la obligación de formular, presentar e implementar los sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos, con el propósito de prevenir y controlar la degradación del ambiente. Los productores regulados por la resolución son aquellos que comercializan los siguientes aparatos:

- Sistemas informáticos personales, tales como computadores personales (incluyendo unidades centrales, *mouse*, pantalla y teclado) y computadores portátiles (sistemas integrados de unidad central pantalla y teclado).
- Impresoras.

⁶ MAVDT (2010b). Colombia cuenta también con la “Resolución 1297 Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores”, la cual se excluye por no clasificar como RAEE.

Conjuntamente la Resolución estableció que a partir del año 2012 el sistema de gestión debe asegurar la recolección mínima anual del 5% de los residuos de computadores y/o periféricos; y en los años posteriores, se debe garantizar incrementos anuales mínimos de un 5% hasta alcanzar el 50% como mínimo. Posteriormente el porcentaje de la meta de recolección esperada se evaluará en función de la cantidad de computadores y/o periféricos introducidos en el mercado, como el promedio aritmético de las ventas de los dos años anteriores a la fecha de presentación del sistema ante el MAVDT.

Del porcentaje anual de recolección establecido anteriormente, los productores deberán destinar el 30% de los computadores y/o periféricos recogidos anualmente, a procesos de reacondicionamiento.

ii) **Resolución 1511 - Sistemas de Recolección Selectiva (SRS) y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas** (MAVDT, 2010d)

Tiene como objetivo establecer, a cargo de los productores de bombillas que se comercializan en el país, la obligación de formular, presentar e implementar los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas, con el propósito de prevenir y controlar la degradación del ambiente. Los residuos sobre los que se aplica la resolución son:

- Lámparas y tubos de descarga, excepto los de rayos ultravioleta. Fluorescentes (tubulares rectos, circulares, compactos integrados y no integrados, lámparas fluorescentes integradas).
- Lámparas de vapor de mercurio o sodio; lámparas de halogenuro metálico.
- Las demás lámparas y tubos de descarga, excepto los rayos ultravioletas.
- Las demás lámparas.

La Resolución también establece las siguientes metas mínimas de recolección: a partir del año 2012 el SRS de residuos de bombillas deberá asegurar la recolección mínima anual del 5% de estos residuos, y en los años posteriores, se debe garantizar una recolección con incrementos anuales mínimos del 5% hasta alcanzar el 60% como mínimo de los residuos de bombillas.

Ese mismo año, el MAVDT publicó la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible con el objetivo de orientar el cambio de los patrones de producción y consumo hacia la sostenibilidad ambiental y de contribuir a la competitividad de las empresas y el bienestar de la sociedad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

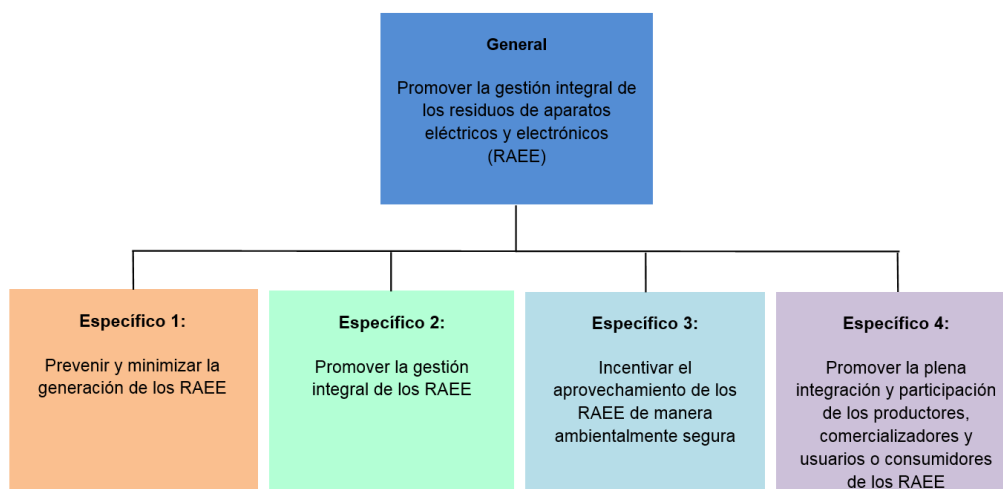
En 2013 se publicó la Ley 1672 que regula la importación, producción, comercialización y consumo de los AEE y la gestión de sus respectivos residuos. Además, establece los lineamientos para la adopción de una Política Pública de Gestión Integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) generados en el territorio nacional, los cuales requieren un manejo diferenciado.

La Ley 1672 se aplica a toda persona natural o jurídica que importe, produzca, comercialice, consuma aparatos eléctricos y electrónicos, y gestione los residuos. Además, establece ciertos principios como la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), el de Participación por parte de los productores, comercializadores y usuarios, así como también el de Producción y Consumo Sostenible, entre otros detallados en la norma (MAVDT, 2013).

Según los lineamientos establecidos en la Ley 1672, Colombia elaboró su Política Nacional para la Gestión de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, promulgada en 2017. La Política Nacional tiene como objetivo promover la gestión integral de los RAEE armonizando las acciones de los actores involucrados, las políticas sectoriales y fortaleciendo los espacios de coordinación interinstitucional y de participación

ciudadana. En ésta se define la hoja de ruta que deberá seguir el país hasta el año 2032, en un accionar sistémico y coordinado por el Estado. En el diagrama 2 se muestran los objetivos de la política nacional.

Diagrama 2
Objetivos de la política nacional para la gestión de los RAEE, Colombia



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017b.

En diciembre de 2017, se publicó el Decreto 2143: “Reglamentado el IVA en las sustituciones de neveras”, buscando promover la sustitución de estos electrodomésticos mediante la rebaja del IVA para dichos artefactos. El decreto adiciona un capítulo al Decreto 1625/2016, “Único Reglamento en Materia Tributaria, para reglamentar el impuesto sobre las ventas en la adquisición de neveras nuevas para sustitución”. Las condiciones para que al comprador le sea aplicable la tarifa diferencial de impuesto sobre las ventas (IVA) del 5% queda sujeta al Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ) y a la clasificación de los refrigeradores en los rangos de energía A, B o C, siempre y cuando se cumplan también los siguientes requisitos: i) su precio sea igual o inferior a las treinta (30) UVT⁷; ii) el adquirente realice entrega de una nevera usada al momento de la compra de la nevera nueva y iii) el comprador pertenezca a un hogar de estrato 1, 2 y 3⁸ (NIIF.CO, 2017).

El año 2018 se promulgó el Decreto 284, que adiciona al Decreto 1076 de 2015, “Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, lo relacionado con la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos – RAEE”. En éste se decretan las obligaciones de los actores involucrados en el sistema de recolección y gestión de RAEE (productor, comercializadores, usuarios, autoridades ambientales, entre otros) y disposiciones finales de los RAEE (Gobierno de Colombia, 2018).

La categorización de los RAEE en Colombia se encuentra pendiente; el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia está desarrollando los criterios para establecer una clasificación oficial, como lo determina el art. 5 de la Ley 1672 (2013) de dicho país. En este contexto el sistema de gestión de RAEE considera las categorías establecidas por ambas directivas de la Unión Europea, tanto la del año 2002 como la del 2012.

c) Japón

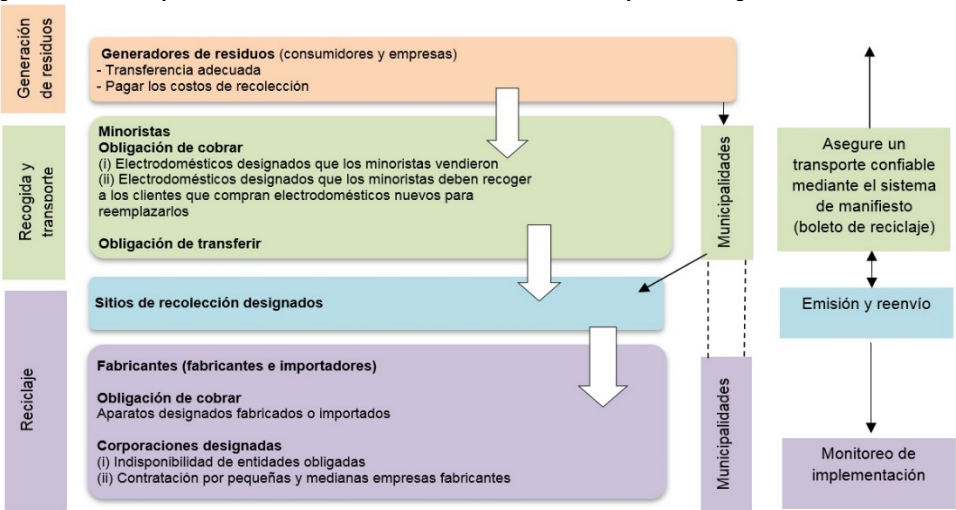
En la legislación de reciclaje de Japón destacan la “Ley de Reciclaje de Electrodomésticos” (*Home Appliance Recycling Law*) de 1998 y la “Ley de Reciclaje de Pequeños Electrodomésticos” (*Small Home Appliance Recycling Law*) de 2012.

⁷ Unidad de Valor Tributario de Colombia.

⁸ Para más información, véase: <https://niif.com.co/decreto-2143-2017/>.

La “Ley de Reciclaje de Equipos Electrodomésticos” define la responsabilidad entre consumidores, minoristas y fabricantes de electrodomésticos en el manejo de aparatos usados y desechados en domicilios, con el objetivo de promover su reducción y reciclaje. Esta ley solo incluye el control de los residuos de televisores, aires acondicionados, refrigeradores y lavadoras (SEMARNAT, 2016); su estructura de funcionamiento se muestra en el diagrama 3.

Diagrama 3
Flujos de residuos y roles de los interesados en relación con la ley de reciclaje de electrodomésticos



Fuente: Hotta, Santo y Tasaki, 2014.

Esta ley define las responsabilidades de los actores como se ilustra en el cuadro 7.

Cuadro 7
Roles de actores en sistema de gestión de RAEE en Japón

Actor	Roles y responsabilidades
Consumidores como eliminadores	Costo y transferencia Los consumidores y las empresas que desean deshacerse de los residuos de electrodomésticos son responsables de pagar tanto la tarifa de recolección/transporte como la tarifa de reciclaje, así como la devolución adecuada de los mismos a los minoristas/ a los que los compraron.
Minoristas	Recogida desde eliminadores y transferencia a fabricantes, etc. Los minoristas son responsables de recolectar los electrodomésticos que vendieron o, a solicitud de los clientes que les compran un electrodoméstico de reemplazo, deben recuperar los electrodomésticos viejos que poseen estos clientes y transferir estos productos al final de su vida útil a los fabricantes responsables; etc.
Fabricantes e importadores de electrodomésticos	Recogida y reciclaje Los fabricantes tienen la obligación de recolectar y reciclar los electrodomésticos que fabricaron o importaron. Sin embargo, los pequeños y medianos fabricantes pueden delegar esta responsabilidad a otros organismos designados en virtud de la Ley.
Gobierno nacional	La Ley define el tamaño de los pequeños y medianos fabricantes que han fabricado o importado. El gobierno nacional es responsable de apoyar las actividades, que son necesarias para la recolección, el transporte y el reciclaje ambientalmente adecuados, incluida la promoción de la investigación y el desarrollo, el suministro de información, el desarrollo de instalaciones relacionadas, la prestación de asistencia técnica, la educación ambiental y la implementación de actividades de difusión de información.
Municipalidades	Los municipios son responsables de gestionar los residuos municipales. Por lo tanto, son responsables de gestionar los residuos de electrodomésticos (o RAEE) fuera del alcance de las obligaciones de recogida y gestión de los productores en virtud de la Ley de reciclaje de electrodomésticos. Los municipios pueden transferir los desechos de electrodomésticos (específicos de esta ley) que han recolectado de los fabricantes, que tienen la obligación de recolectarlos. O, si los gobiernos locales lo desean, también pueden reciclarlos ellos mismos.

Fuente: Hotta, Santo y Tasaki, 2014.

En cuanto a los diversos electrodomésticos pequeños utilizados en el hogar, además de las cuatro categorías principales antes mencionadas, en el año 2012 se promulgó la “Ley de Reciclaje de Pequeños Electrodomésticos”, por la cual la municipalidad es la encargada de recoger los pequeños RAEE (celulares, radios, cámaras, entre otros). Esta ley permite que ciertas compañías de reciclaje certificadas por el gobierno puedan emprender el tratamiento de reciclaje de los electrodomésticos después de recibirlos de los municipios. El propósito de esta ley es promover la recolección de metales preciosos y/o raros de los pequeños electrodomésticos y reciclarlos como recursos industriales de metales en bruto. En el cuadro 8 se presentan las normativas vigentes en Japón y en el cuadro 9 se realiza una comparación entre ambas leyes.

Cuadro 8
Sistema legal de reciclaje de productos individuales en Japón

Año promulgación	Nombre de la ley	Productos de destino
2012	Ley de Reciclaje de Pequeños Electrodomésticos	Pequeños dispositivos electrónicos
2002	Ley de reciclaje de vehículos al final de su vida útil	Automóviles (polvo triturador, bolsa de aire, gas fluorocarbonado)
2000	Ley de Reciclaje de Materiales de Construcción	Madera, hormigón, asfalto
2000	Ley de Reciclaje de Alimentos	Residuos de comida
2000	Ley básica sobre el establecimiento de una sociedad sólida del ciclo de materiales	Ley marco básica: para garantizar la sociedad del ciclo material, controlar el consumo de recursos naturales y reducir la carga ambiental
1998	Ley de Reciclaje de Electrodomésticos	Aires acondicionados, refrigeradores, televisores, lavadoras
1995	Ley de Reciclaje de Envases y Envases	Botellas, botellas de plástico, envases de plástico, embalajes

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Amemiya, 2018.

Cuadro 9
Comparación leyes de reciclaje electrodomésticos

	Ley de reciclaje de electrodomésticos	Ley de reciclaje de pequeños electrodomésticos
Artículos de destino	4 tipos de electrodomésticos grandes (aire acondicionado, TV, lavadora, refrigerador)	Pequeños electrodomésticos y aparatos electrónicos para su uso en la vida diaria (como PC, teléfonos móviles, VTR, DVD, cámaras digitales, relojes y secadores de pelo).
Recaudación	Fabricantes/importadores de productos (grandes y pequeños RAEE)	Grandes RAEE responsables productores y pequeños RAEE, municipios y recicladores.
Reciclaje	Fabricantes/importadores de productos (grandes y pequeños RAEE)	Grandes RAEE responsables productores y pequeños RAEE, municipios y recicladores.
Carga de costos	Los consumidores	Pequeños RAEE sin costo para consumidores. Las ganancias del reciclaje pueden cubrir el sistema.
Cantidad tratada en el año fiscal 2016	11 millones de unidades (aproximadamente 400 mil toneladas)	68 mil toneladas ^a .

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Amemiya, 2018.

^a Para más información, véase: https://www.meti.go.jp/english/press/2017/0616_003.html.

La ley de reciclaje de Japón establece que las sanciones se aplican a aquellos minoristas y fabricantes que descuidan sus obligaciones de recolección y reciclaje, brindan información falsa o imponen cargos ilegales, las cuales pueden ser recomendaciones correctivas, ordenes correctivas o sanciones. Las sanciones monetarias varían desde una multa entre 926 USD y 4.630 USD. Las personas que cometen *dumping* ilegal están sujetas a una pena de hasta cinco años de prisión o una multa de hasta 92.604 USD (o de 2.778.120 USD para corporaciones) en virtud de la Ley de Gestión de Residuos y Limpieza Pública (Hotta, Santo y Tasaki, 2014).

2. Caracterización del Sistema de Gestión de RAEE

Para el presente estudio se entenderá como “Sistema de Gestión de RAEE” al conjunto de actividades desarrolladas por el productor de aparatos eléctricos y electrónicos para garantizar la recolección y manejo integral y ambientalmente seguro de los RAEE, con el fin de prevenir y controlar los impactos a la salud y al ambiente. La definición corresponde a una adaptación de la definición presentada en la Política Nacional Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos de Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017b).

A continuación se presenta un detalle de los sistemas de logística, recolección y tratamiento para Suiza, Colombia y Japón.

a) Suiza

i) Logística y recolección

La gestión de residuos en Suiza cuenta con tres sistemas de reciclaje en el área de equipos eléctricos y electrónicos: SWICO *Recycling*, SENS *eRecycling* y SLRS (*Swiss Lighting Recycling Foundation*). El objetivo de cada uno de los sistemas está estrechamente asociado con una industria en particular, de modo que cada uno de ellos responde a necesidades específicas de las industrias (SENS, SWICO, SLRS, 2011).

El sistema SWICO/SENS es el actual sistema oficial de recolección de Suiza y entró en vigor el 8 de diciembre de 2009. Si bien el sistema fue creado como iniciativa del sector privado, posteriormente fue declarado estado del arte por la Oficina Federal de Medio Ambiente de Suiza (BAFU por sus siglas en alemán), lo que implica que el cumplimiento es obligatorio para todas las empresas de reciclaje de RAEE que operan en el país (SRI - *Sustainable Recycling Industries*, 2015). A continuación, se describen los sistemas de gestión utilizados (SRI-*Sustainable Recycling Industries*, 2015).

- **SENS *eRecycling*** es una fundación independiente, neutral y sin fines de lucro establecida en 1990. Entró en vigor como estándar oficial de Suiza en el año 2009 en conjunto con SWICO. SENS se concentra en la devolución, el reciclaje y la eliminación de equipos domésticos eléctricos y electrónicos. Dentro de los equipos tratados se encuentran grandes y pequeños aparatos (como lavadoras, refrigeradores, hornos), equipos para edificios, jardines y pasatiempos, así como también juguetes y juegos. Además, SENS trabaja estrechamente con redes especializadas en las que están representadas las partes involucradas en el reciclaje de equipos eléctricos y electrónicos.
- **SWICO *Recycling*** es un sistema sin fines de lucro de la Asociación Suiza para la Tecnología de la Información, la Comunicación y la Organización, que se estableció en 1994. Este sistema tiene como objetivo recuperar materias primas y eliminar sustancias nocivas de una manera respetuosa con el medio ambiente, reciclando la mayor cantidad posible de los materiales de los equipos eléctricos y electrónicos utilizados en: informática, electrónica de consumo, equipos de oficina, comunicaciones, industria gráfica, tecnología de medición y tecnología médica (computadores, televisores, radios, impresoras, entre otros).
- **The Swiss Lighting Recycling Foundation (SLRS)** es la principal responsable del reciclaje de sistemas de iluminantes y equipos de iluminación. Se estableció en 2005 y se encarga de organizar la recolección y reciclaje a gran escala de equipos de iluminación en toda Suiza. Para esto, SLRS coopera estrechamente con SENS para todos los aspectos técnicos y logísticos del proceso de eliminación y la infraestructura de recolección. Para financiar este trabajo, SLRS administra un fondo para iluminantes y equipos de iluminación, pagado por el respectivo ARF (*Advanced Recycling Fee*)⁹ (Goodship, Stevels y Huisman, 2019).

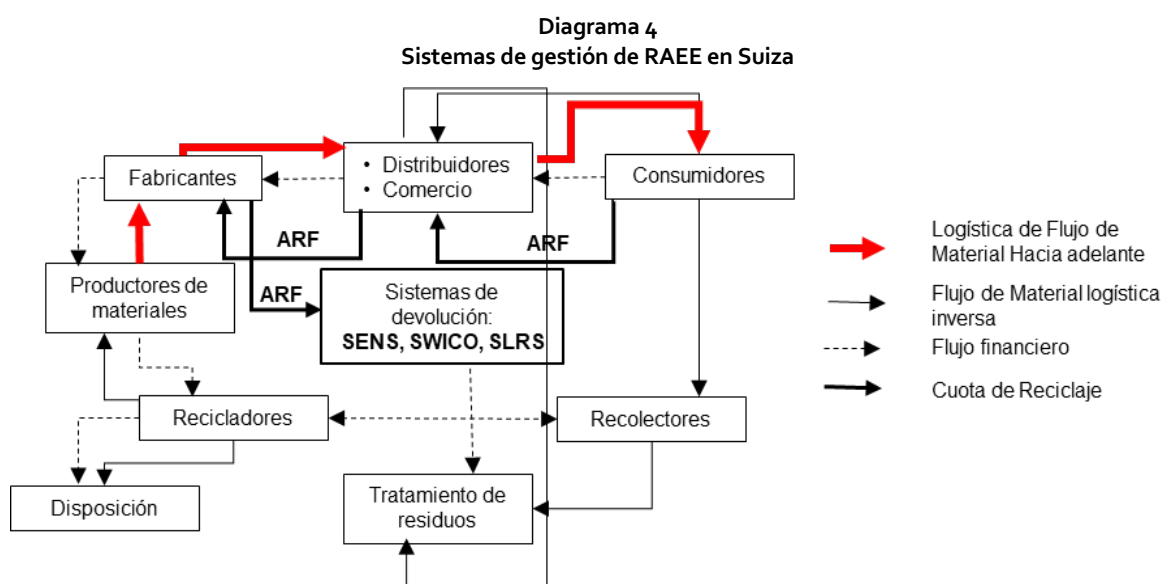
⁹ Tarifa de reciclaje avanzado.

La legislación suiza cubre solamente las primeras siete categorías de la Directiva de la UE sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (versión del 2002), por lo que las categorías Equipos Médicos, Instrumentos de Monitoreo y Control y Dispensadores Automáticos no se incluyen explícitamente en las estadísticas de RAEE de la Oficina Federal del Medio Ambiente del país¹⁰.

Los sistemas de gestión SWICO/SENS/SLRS distinguen siete categorías y en sus registros de recolección no se hace diferenciación entre equipos domésticos y profesionales (Goodship, Stevels y Huisman, 2019). Las categorías reportadas en el sistema son:

- Grandes electrodomésticos.
- Refrigeradores, congeladores y aires acondicionados.
- Pequeños equipos eléctricos.
- Equipos electrónicos.
- Pequeños dispositivos eléctricos y electrónicos.
- Aparatos de alumbrado (lámparas).
- Otros equipos no VREG.

El sistema de funcionamiento se desarrolla según se muestra en el diagrama 4.



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Ardi e Yogyakarta, 2016.

ii) Sistema de financiamiento

El financiamiento del sistema de gestión de Suiza se sustenta en la aplicación de un instrumento de financiamiento denominado ARF (*Advanced Recycling Fee*), el cual corresponde a una tarifa que se

¹⁰ La BAFU (por sus siglas en alemán) es la Oficina Federal de Medio Ambiente de Suiza y su misión es garantizar el uso sostenible de los recursos naturales, incluidos el suelo, el agua, el aire, la tranquilidad y los bosques. Es responsable de la protección contra los peligros naturales, salvaguardando el medio ambiente y la salud humana contra impactos excesivos, y conservando la biodiversidad y la calidad del paisaje. También es responsable de la política ambiental internacional (BAFU, 2019b).

aplica sobre los productos en los puntos de venta. Este instrumento refleja la brecha entre el costo total de la gestión de los RAEE y el valor total recuperado del desecho (Wath, Vaidya, Dutt y Chakrabarti, 2010) y sirve para financiar el proceso completo, desde la recuperación hasta el tratamiento de los equipos. En este sentido la ARF es una contribución de los compradores de equipos nuevos a los gastos de recuperación actuales y futuros.

Cabe destacar que el sistema SENS no aplica la tarifa ARF a compras realizadas en línea o en el extranjero. Esto debilita el sistema de reciclaje en Suiza, generando pérdidas entre 3 y 4 millones de USD al año. De todos modos, existe la opción para aquellas personas que realicen compras en línea de pagar 5 USD vía un mensaje de texto (SENS, 2019a).

Los mecanismos de funcionamiento de la ARF son los siguientes (Khetriwal, Kraeuchi y Widmer, 2009):

- Los productores pagan la ARF a las Organizaciones de Responsabilidad del Productor (PROs por sus siglas en inglés) cuando venden o importan nuevos productos electrónicos.
- Los productores traspasan la ARF a los distribuidores y minoristas.
- Los distribuidores y minoristas facturan a los clientes incluyendo la ARF en los puntos de venta.
- Los PROs distribuyen la ARF a las compañías seleccionadas que manejan los RAEE.

Esta situación implica que, en lugar de los productores, son los clientes que tienen la responsabilidad final de financiar todos los sistemas.

Los valores de la ARF se encuentran disponibles en el sitio web de las empresas SENS y SWICO. En los cuadros 10 y 11 se presentan los valores mínimos y máximos para las diferentes categorías.

Cuadro 10
Valor mínimo y máximo ARF por producto de cada categoría – SENS
(En dólares)

Categoría	Mínimo ARF (excluye 7,7% IVA) (en dólares)	Máximo ARF (excluye 7,7% IVA) (en dólares)
Intercambio de temperatura (refrigeración, AC, congelación y tratamiento de aire)	9,32	55,89
Sistemas electrónicos de estanterías		0,19
Paneles FV y sus componentes		0,04 por kg
Herramientas eléctricas, incluidas robots alimentados por batería	0,79	15,28
Juegos y juguetes	Exento	0,46
Antorchas	0,25	0,04
Baterías de repuesto para herramientas eléctricas y robots	0,50	19,32
Lámparas y equipos de iluminación	0,16	0,18

Fuente: Elaboración propia sobre la base de SENS, 2019a.

Cuadro 11
Valor mínimo y máximos – SWICO
(En dólares)

Categoría	Subcategorías	Mín. de ARF 2019 (excl. VAT) <i>(en dólares)</i>	Máx. de ARF 2019 (excl. VAT) <i>(en dólares)</i>
Aparatos Electrónicos	61	0,1	26,0
Equipos Médicos	4	0,4	5,6
Equipos de Audio	23	0,4	11,1
Oficina/ TI	118	0,1	26,0
Fotografía	4	0,4	1,9
Equipos de Seguridad	15	0,1	1,9
Telecomunicaciones	18	0,1	11,1
UPS	3	1,9	11,1
Varios	14	0,1	1,9

Fuente: Elaboración propia sobre la base de SWICO, 2019c.

La ARF es un instrumento financiero eficiente que garantiza que los tres sistemas de reciclaje operantes en el país sean responsables no solo del procesamiento correcto de los dispositivos en sus respectivos sectores, sino también de los desafíos futuros.

iii) Sistema de recolección

La entrega de los RAEE en el sistema de gestión varía según el tipo de usuario o entidad.

Un individuo privado tiene dos opciones para deshacerse del aparato eléctrico y/o electrónico de forma gratuita una vez terminada su vida útil. Una primera opción es la entrega directa a minoristas de equipos eléctricos y electrónicos que vendan el mismo tipo de dispositivo que se quiere reciclar. En este caso no se necesita presentar una boleta de compra o comprar un equipo nuevo. Una segunda opción considera la entrega directa en puntos de recogida SWICO, desde donde se llevan directamente a uno de los socios de reciclaje y se desmantelan (SWICO, 2019b).

Para el caso de los municipios se establece que éstos no pueden devolver los electrodomésticos a través de la basura doméstica, por lo tanto, pueden optar a cuatro alternativas de recolección (ACRR, 2007):

- Que decidan no encargarse de la recogida de RAEE: en tal caso se informa a los consumidores que pueden entregarlos, sin coste alguno, en los establecimientos de minoristas o en los puntos de recogida SWICO.
- Que los municipios propongan organizar, una o dos veces al año, campañas de recogida de RAEE, para lo cual facilitan los soportes y estructuras adecuadas. Los costes de transporte y reciclaje recaerán sobre SWICO.
- Que los aparatos eléctricos y electrónicos descartados no recogidos "activamente" puedan depositarse en los puntos oficiales de recogida SWICO: de este modo, los municipios pequeños pueden aprovechar la oportunidad de devolver gratuitamente cantidades pequeñas.
- Que, en aquellos ayuntamientos que recojan más de 5 toneladas de RAEE/año, se amplíen los puntos de recogida municipales y se conviertan en puntos oficiales de recogida SWICO.

Por otra parte, para empresas e instituciones que posean más de 250 kg de desechos electrónicos de equipos grandes (de altura mínima de 80 cm), existe la posibilidad de solicitar una recogida sin cargo al sistema SWICO. Para el sector de comercio, la ley exige a los distribuidores que devuelvan los dispositivos del tipo eléctricos y electrónicos, sin costo asociado (SWICO, 2019b).

De manera similar trabaja el sistema SENS *eRecycling*, el cual funciona a partir de la compra del equipo con la aplicación de la pertinente ARF. Una vez terminada la vida útil de los equipos, éstos son devueltos en los puntos donde son vendidos o en puntos de recolección de SENS, para finalmente ser trasladados a los puntos de reciclaje de los socios pertinentes. Algunos comercios establecen contratos con SENS para que

sus productos sean recolectados por separado y luego regresados, de manera que puedan ser reaprovechados (SENS, 2019b). Además, se ha implementado el pago voluntario de la ARF para las compras de equipos en línea y en el extranjero, para cofinanciar el reciclaje futuro del dispositivo.

Algunos aspectos considerados en ambos sistemas de gestión, SWINO/SENS son (SRI-Sustainable Recycling Industries, 2015):

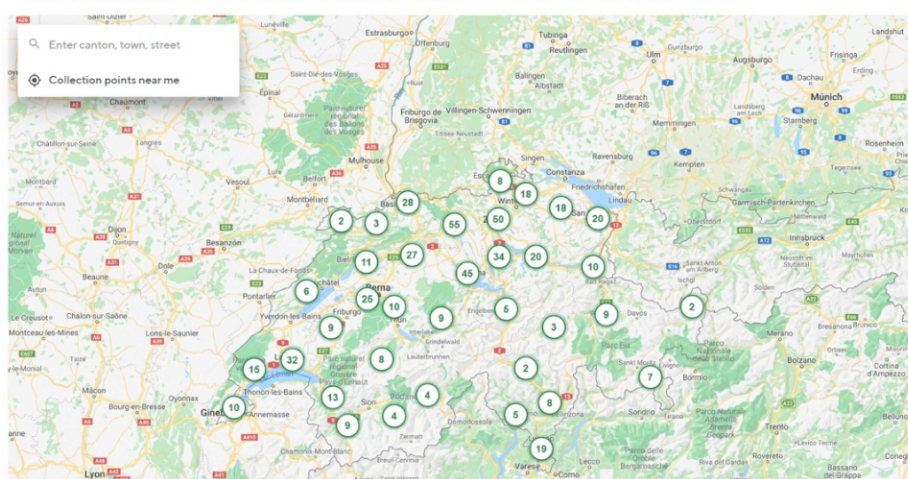
- Los recicladores deben registrar las actividades y documentar los flujos de materiales (entradas y salidas).
- Que los RAEE sean procesados por separado sin mezclarlos con chatarra metálica u otro tipo de basura.
- Que los destinatarios sean socios de SENS/SWICO, y para exportaciones, se aplica la ley suiza.
- Las fracciones combustibles que no pueda ser reciclada, deben ser incineradas, conforme con la ley suiza.
- Los comerciantes están obligados a aceptar por parte de los usuarios los RAEE sin importar la marca.
- Las plantas de reciclaje tienen un contrato con SENS o SWICO por 2 años. Si los recicladores extranjeros cumplen los requisitos podrían ser contratados.
- Cuota Anticipada de Disposición con la que se paga la gestión de los puntos de recolección y de los transportes, el pago de esta cuota se realiza cada 3 o 6 meses dependiendo del contrato individual.

La disponibilidad de información referente a los puntos de recolección de RAEE es amplia. En los sitios web de SWICO y SENS se entrega información detallada acerca de los puntos de recolección disponibles, indicando por ejemplo direcciones y horarios de apertura (ver mapas a continuación). En el caso de SWICO, existen alrededor de 600 puntos de recolección operados por el sistema (SWICO, 2019a), mientras que en el caso de SENS existen más de 700 puntos (Zimmermann, 2016 y SENS, 2019c).

Mapa 2
Puntos de recolección SWICO

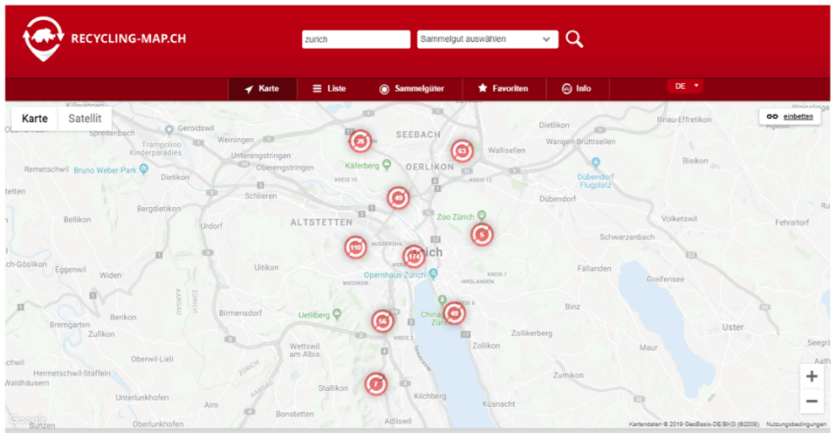
Collection points Switzerland

Private individuals discard equipment to an electrical and electronics dealer or at some 600 Swico collection points free of charge.



Fuente: SWICO, 2019a.

Mapa 3
Puntos de recolección SENS, ejemplo ciudad de Zúrich



Fuente: SENS, 2019c.

En relación a la distribución de los RAEE por tipo de punto de recolección se ha identificado que para el 2018, se recuperó un volumen aproximado de 73,6 mil toneladas entre SWICO y SENS, correspondiendo: 2% aquellos entregados por fabricantes, 8% empresas, 16% *retail* y 74% puntos de entrega.

La composición media anual de los residuos electrónicos que se eliminan en Suiza a través de los canales de SENS y SWICO, corresponden a (BAFU, 2017):

- Pequeños electrodomésticos (SENS + SWICO): 25%.
- Electrónica de consumo (SWICO): 36%.
- Equipo de comunicaciones (SWICO): 3%.
- Procesamiento de datos y equipos electrónicos de oficina (SWICO): 36%.

Desde los puntos de recolección el material se transporta a las instalaciones de desmantelamiento, que a menudo se integran con las instituciones sociales, para clasificar previamente los *pallets* de aparatos mixtos, desmantelarlos manualmente y, lo más importante, descontaminar los desechos electrónicos mediante la extracción de los componentes más tóxicos de manera segura y protegida (Khatriwal, Kraeuchi y Widmer, 2009).

b) Colombia

A partir de la promulgación de las resoluciones sobre los sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental para computadores y bombillas, antes descritas, y con la materialización de la Ley 1672, surgen los sistemas de recolección posconsumo. Estos sistemas y las cantidades de RAEE recolectados al año 2018 se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12
Cantidades registradas de RAEE recolectados por principales sistemas posconsumo desde el año 2012

Colectivo o Sistema posconsumo	Tipo de RAEE que recolecta	Toneladas reportadas al 10/9/18
EcoCómputo	Computadores y periféricos	2 366,6
Red Verde	Neveras, lavadoras, aires acondicionados y hornos microondas	4 474 unidades desde 2014
Lúmina	Lámparas de todo tipo	4 260,9

Fuente: UPME, 2018.

i) EcoCómputo

Como se mencionó previamente, desde el año 2010 Colombia cuenta con la Resolución 1512 que regula la recolección y gestión de residuos de computadores y periféricos. La implementación de la normativa se ha apoyado en instrumentos de gestión de RAEE, particularmente diferentes Sistemas de Recolección Selectiva (SRS) de computadores y/o periféricos, como por ejemplo Ecocómputo.

Este sistema se inició en el año 2011 bajo la administración de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI). Posteriormente, en 2012, EcoCómputo fue aprobada como sistema por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y finalmente, en el año 2014, se creó la Corporación EcoCómputo, que corresponde a una entidad sin fines de lucro, constituida como vocera de las empresas asociadas al Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos.

Cabe mencionar que un sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de Computadores y/o Periférico, es un instrumento de gestión y control ambiental, al que los importadores, fabricantes y comercializadores deben acogerse como parte del cumplimiento de su responsabilidad ambiental empresarial frente a los consumidores y ante la sociedad en general. A continuación, se describe la logística de funcionamiento del SRS de computadores y/o periféricos:

Cuándo y cómo se debe presentar el SRS

Se debe presentar el Sistema de Recolección Selectiva cuando se trate de un productor que comercialice 100 o más unidades al año de sistemas informáticos personales, como computadores personales (incluyendo unidad central, *mouse*, pantalla y teclado), computadores portátiles (sistema integrado de unidad central, pantalla, teclado) e impresoras (ANLA, 2019).

El SRS cuenta con dos modalidades, la primera como sistema individual, cuya responsabilidad de formulación, implementación y gestión es propia, y la segunda como sistema colectivo, que, al igual que el sistema anterior, posee la misma responsabilidad, pero en este caso está compartida entre varios productores. Por ende, cada integrante debe ser responsable de gestionar las metas de recolección de residuos propios y el cumplimiento de las metas del sistema colectivo.

En cuanto a las cantidades de tecnologías comercializadas por el productor, se debe presentar en el sistema (colectivo o individual) la información a partir de dos años anteriores a la fecha de presentación del sistema. Dicha información corresponde a:

- Marca y referencia de cada computador y/o periférico que comercializa.
- Tipo de productos; discriminados según el artículo segundo de la Resolución 1512 de 2010.
- Peso unitario (gr/unidad o kg/unidad) y peso total (kg o toneladas) de los computadores y/o periféricos comercializados.
- Unidades puestas en el mercado (comercializadas o vendidas).

Otros actores, ya sean públicos o privados, como por ejemplo autoridades ambientales regionales y municipales, organizaciones civiles, gremios y/o asociaciones, medios de comunicación, instituciones educativas, entre otros; que quieran apoyar el sistema, deben detallar la forma en que participarán en el sistema: cuál será el rol o la actividad desempeñada, en qué etapa o proceso participan. Es importante destacar que estos actores son diferentes a los encargados de realizar las actividades de recolección, transporte, disposición final y/o aprovechamiento de los residuos recolectados. Las actividades de apoyo posibles de relacionar a estos actores son variadas y tienen relación con educación, comunicación y apoyo en la implementación del sistema.

Algunos elementos con que debe contar un sistema de gestión de Computadores y/o Periféricos para su implementación corresponden a:

- Organigrama del sistema: actores involucrados, funciones y responsabilidades asociadas.
- Identificación y domicilio de las personas naturales o jurídicas, encargadas de la recolección, transporte, almacenamiento, reacondicionamiento, reúso, tratamiento, aprovechamiento, valorización y/o disposición final.
- Descripción detallada de las características físicas de los puntos de recolección, centros de acopio o mecanismos de recolección equivalente para la recepción de computadores y/o periféricos.
- Mecanismos de seguimiento y verificación de los datos aportados.
- Procedimientos de recolección de datos, validación de éstos y suministro de información a la ANLA o el ente encargado.
- Mecanismos de financiación y costos del Sistema, detalle de los costos de implementación y operación del SRS.

Canales de recolección

Actualmente el sistema SRS cuenta con 2 canales de recolección: el canal residencial y el canal empresarial. El primero cuenta con jornadas de recolección periódicas que abarcan grupos de 3 ó 4 comunas con el fin de que la población entregue sus RAEE en los puntos dispuestos de recolección (EcoCómputo, 2019b).

En el caso del canal empresarial (orientado a empresas y entidades públicas) el proceso de recolección se realiza a través de 5 pasos (EcoCómputo, 2019b):

- Empaque de los aparatos electrónicos en desuso.
- Rotulado del paquete como "Residuos de computadores y periféricos".
- Agenda de una fecha de recolección (en la página web de la Corporación) y llenado del formulario para coordinar la entrega.
- Registro de la cantidad y peso de los residuos. Si el peso supera los 350 kg de residuos, la recolección se realiza en las instalaciones de la empresa. En el caso de pesos inferiores a 350 kg, se asigna el centro de acopio más cercano.
- Dentro de 40 o 60 días hábiles después de la recolección, se puede descargar un certificado otorgado por EcoCómputo.

Sobre el funcionamiento del SRS, el Informe de Gestión del año 2018, elaborado por EcoCómputo, presenta el estado anual de los RAEE y los resultados de la implementación del sistema. Respecto al origen de los actuales RAEE recolectados en términos de peso se ilustra que éstos provienen principalmente del canal *Business to Business (B2B)*, con un 87% del total recolectado. El restante 13% proviene del canal *Business to Consumer (B2C)* (EcoCómputo, 2019c); en el cuadro 13 se detalla las cantidades recolectadas:

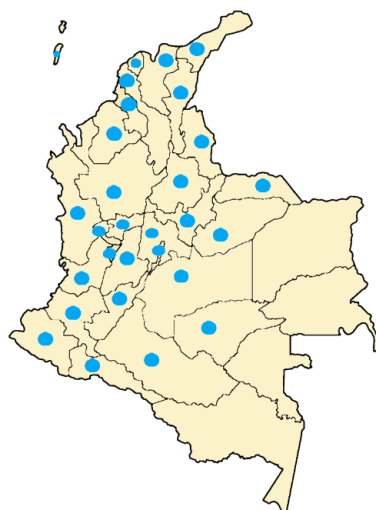
Cuadro 13
Recolección de RAEE por los canales oficiales para el año 2018

Participación por canal B2B y B2C		
Canal	Unidades	Peso (Kg.)
B2B	599 124	2 005 708,00
B2C	128 358	320 346,45
TOTAL	727 482	2 376 054,45

Fuente: EcoCómputo, 2019c.

Actualmente el sistema posee una cobertura territorial de 29 departamentos (de un total de 32), lo que equivale a 195 municipios que logran beneficiar aproximadamente a 32 millones de personas, sumando 154 puntos de recolección como se ilustra en el mapa 4.

Mapa 4
Cobertura sistema RAEE en Colombia

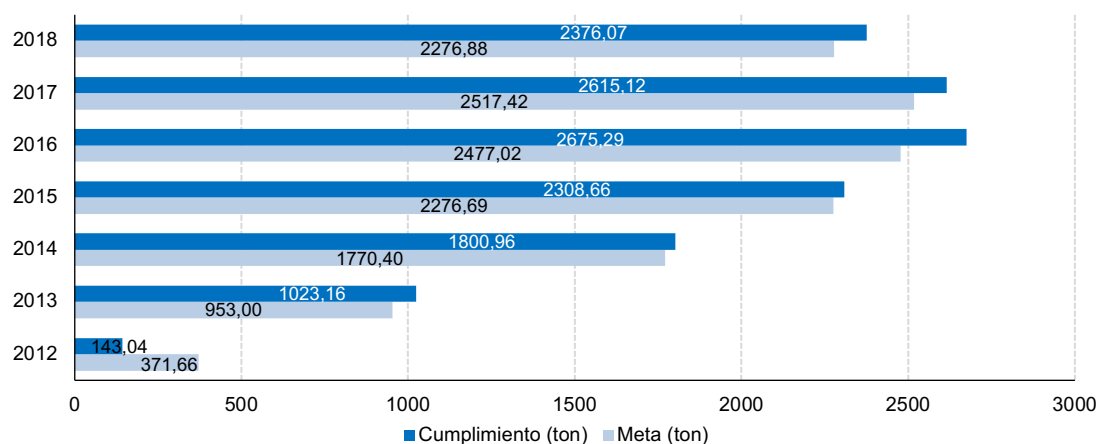


Fuente: Elaboración propia sobre la base de EcoCómputo, 2019c.

EcoCómputo ha habilitado en su página web un mapa con los puntos de recolección georreferenciados en cada municipio, donde se detalla el nombre del lugar, la dirección y el horario de atención de cada punto de recolección. Tal como se indica en la página web, la entrega de los RAEE no tiene un costo asociado¹¹.

A partir de la ejecución del sistema de gestión desde el año 2012, año en que se recolectaron 143 toneladas de RAEE, la meta de recolección ha aumentado progresivamente, tal como se muestra en el gráfico 1 (EcoCómputo, 2019c).

Gráfico 1
Crecimiento de las metas de recolección, período 2012-2018
(En toneladas)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de EcoCómputo, 2019c.

¹¹ Para más información, véase: <https://ecocomputo.com/faqs-preguntas-frecuentes>.

ii) **Red Verde**

En el año 2013 surge Red Verde, un programa posconsumo de electrodomésticos que, de manera colectiva entre empresas privadas, se encarga de la administración, operación y financiación del sistema de recolección selectiva de electrodomésticos en el país. Entre las empresas fundadoras se encuentran: Abba, LG, CHALLENGER, Mabe, Haceb, Whirlpool, Panasonic y Samsung.

Los electrodomésticos gestionados corresponden a refrigeradores (de una puerta, dos puertas y minibar), aires acondicionados de cualquier tipo, hornos microondas y lavadoras (Red Verde, 2019b).

El sistema de gestión posee 2 canales de recolección: Canal B2B y B2C (al igual que EcoCómputo). A través de cualquiera de estos canales se recibe el electrodoméstico por parte de un gestor ambiental autorizado en la licencia ambiental para el manejo de RAEE, el cual procede a realizar el desensamble del artefacto donde personal especializado se encarga de separar las corrientes aprovechables y las peligrosas. Luego de separar los residuos aprovechables, como por ejemplo plásticos, metales, aluminio y componentes eléctricos, éstos se almacenan y se envían a empresas autorizadas para ser reciclados. Por su parte, los residuos peligrosos o de manejo diferenciado, son clasificados y enviados a diferentes procesos para un tratamiento adecuado y/o disposición final¹².

Tanto el consumidor residencial como el empresarial tienen la opción de gestionar sus RAEE realizando la solicitud para la recolección de los electrodomésticos de manera remota, llamando a la línea telefónica exclusiva de Red Verde o bien completando el formulario de gestión que se encuentra en su página web¹³.

La solicitud de recolección tiene un cargo de USD 3,4 (MABE, 2019). Los costos del servicio de recolección varían dependiendo de la ciudad en donde se realice la solicitud. En el caso de Medellín o Bogotá el costo asociado es de COP 25.000, mientras que en otras ciudades el costo es de COP 30.000 (Haceb, 2019).

Por otra parte, Red Verde cuenta con 11 puntos de entrega para los electrodomésticos, los cuales se encuentran georreferenciados en su página web¹⁴. Además, se puede descargar la app de Red Posconsumo, donde también es posible encontrar los puntos de recolección de todos los programas posconsumo¹⁵. En cuanto a la cobertura de puntos de recolección, el sistema se encuentra en 5 ciudades concentrándose principalmente en Medellín con 7 puntos de entrega; Bogotá, Pereira, Barranquilla y Cali poseen un punto de recolección cada una.

Como se describió en el marco normativo, Colombia cuenta con un nuevo Decreto 2143 que permite adquirir una nueva nevera con un IVA del 5% (y no del 19%) si se sustituye la nevera vieja o usada. Este beneficio aplica para todas las marcas de refrigeradores de uso doméstico para refrigeración y/o congelación de alimentos.

El programa posconsumo de Red Verde al año 2018 logró la recolección y gestión de 3.950 unidades de electrodomésticos correspondientes a: neveras, aires acondicionados, lavadoras y hornos microondas en diferentes zonas del país (Red Verde, 2019e).

iii) **Lúmina**

El actual sistema de Recolección y Gestión de Lámparas (bombillas) determinado en la Resolución 1511, es ejecutado por la Corporación Lúmina, que se encarga del aprovechamiento de los residuos de iluminación de Colombia desde el año 2012.

Lúmina cuenta con la participación de más de 70 empresas importadoras. Para la recolección de estos RAEE, se dispone de dos canales: el canal residencial y el canal institucional (Lúmina, 2019). En el caso del canal residencial, ya sea persona natural o jurídica, una vez que finaliza la vida útil de las

¹² Para más información, véase la página web de Red Verde: <http://www.redverde.co/index.php>.

¹³ Para más información, véase: <https://redverde.datagestion.co/redverde/adminz/preregistro/>.

¹⁴ Para más información, véase: <http://www.redverde.co/index.php/puntos-de-entrega/bogota>.

¹⁵ Dentro de los programas de posconsumo de Colombia se encuentran: Cierra el ciclo, EcoCómputo, Pilas en el ambiente, Rueda Verde y RecoEnergy.

ampolletas, éstas deben ser depositadas en contenedores de Lúmina, que son instalados en diversos puntos a nivel nacional, descrito más adelante. Luego, Lúmina recoge los contenedores y los lleva a centros de acopio y las ampolletas fuera de uso son almacenadas en las instalaciones de los gestores asociados. El gestor las envía a la planta de Cali para ser aprovechadas. Ahí son trituradas, las desmercurizan y se convierten en materia prima para otros procesos productivos. Finalmente, el gestor entrega a nombre de la organización donde se encuentra ubicado el contenedor, el certificado de aprovechamiento.

Por otra parte, para el caso Institucional, quienes participan de este canal son:

- Personas naturales o jurídicas.
- Fábricas o importadoras de ampolletas.
- Comercializadoras de ampolletas bajo nombre propio o marca.
- Fábricas, importadoras o marca propia con más de 3.000 unidades comercializadas al año.

Para gestionar residuos de iluminación las organizaciones deben disponer de forma adecuada los residuos de ampolletas y tubos fluorescentes según el Decreto 4.741¹⁶, luego se debe registrar la empresa en la aplicación de Lúmina¹⁷. Una vez aprobada la entrega de los residuos mediante la aplicación se podrá entregar los residuos en el centro de acopio asignado. De igual modo que en el canal residencial, el gestor de Lúmina, almacena y clasifica las ampolletas en tubos fluorescentes y HID en el centro de acopio. Los residuos son enviados a las plantas de procesamiento, donde se realiza el aprovechamiento del 100% de las ampolletas y tubos. Finalmente, en la aplicación Luminapp se puede descargar el certificado, en un período no mayor a 90 días hábiles desde la entrega. La entrega de las ampolletas en los puntos de recolección no tiene costos asociados¹⁸.

En Colombia, específicamente en Bogotá, se dan iniciativas voluntarias para disposición de los RAEE, las cuales han sido apoyadas por el gobierno. Sin embargo, también se desarrolla en forma paralela un reciclaje de carácter informal, el cual es realizado por recicladores (o recuperadores) y organizaciones no autorizadas para la manipulación de estos residuos.

El reciclaje informal difiere del canal formal en cuanto a la tecnología usada y el nivel de aprovechamiento de los residuos. Los canales informales hacen el desensamble y la recuperación de manera manual. Asimismo, los componentes peligrosos no son recibidos por las bodegas de recuperación o intermediarios, sino que son dispuestos en la calle para que las empresas de aseo los lleven a botaderos o rellenos (Rodríguez et al, 2013).

c) Japón

El sistema de recolección y reciclaje de Japón se rige por la *Home Appliances Recycling Law* (Ley de Reciclaje de Electrodomésticos, 2001) y por la *Small Home Appliance Recycling Law* (Ley de Reciclaje de Pequeños Electrodomésticos, 2013), que se basan en la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), al igual que otros países que han implementado este tipo de políticas.

El 12 de abril de 2001, se implementó la legislación de gestión de RAEE *Home Appliances Recycling Law* para reciclar y tratar: i) acondicionadores de aire, ii) televisores, iii) máquinas de lavandería y iv) refrigeradores. Bajo la ley de reciclaje de aparatos domésticos, los RAEE son recolectados principalmente a través de tiendas de *retail*, luego transportados a lugares de almacenamiento y posteriormente los fabricantes se encargan de su

¹⁶ Decreto 4741/2005: reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

¹⁷ Para más información, véase: <http://luminapp.co/>.

¹⁸ Para más información, véase: https://lumina.com.co/preguntas_frecuentes.

reciclaje. En algunos casos, los consumidores llevan directamente sus RAEE a municipios cercanos, quienes finalmente los trasladan a los lugares de almacenamiento (Menikpura, Santo y Hotta, 2014).

La responsabilidad recae en los consumidores quienes deben realizar una eliminación adecuada del aparato eléctrico y pagar los costos de recolección y reciclaje a través del *recycling ticket*¹⁹. El sistema se basa en que el consumidor debe pagar una cuota de reciclaje a través de un *ticket* de reciclaje, que es pagado por el usuario final al momento en que desea reciclar el AEE. Esta cuota es establecida por el minorista u otro agente de recolección, y su objetivo es financiar la recolección de estos residuos (Amemiya, 2018).

El sistema de *tickets* de reciclaje de electrodomésticos empleado por Japón fue desarrollado por la *Association for Electric Home Appliances* (AEHA), entidad legal de Asociación de Productores de AEE en el país, la cual se encarga de recopilar la información requerida en el *ticket* a partir de lo presentado por sus miembros, garantizando al mismo tiempo que las partes relevantes, como consumidores, minoristas y fabricantes, impulsen las actividades de reciclaje de electrodomésticos conforme a la "Ley de Reciclaje de Electrodomésticos" (Bo e Yamamoto, 2010).

El *recycling ticket* se puede adquirir en las oficinas de correos y en tiendas minoristas y su valor varía según el tipo de AEE (ver cuadro 14). Los *tickets* cobrados se transfieren mensualmente a los fabricantes; su objetivo es cubrir los costos asociados con la operación de los centros regionales de acopio, el transporte de productos a las instalaciones de reciclaje y la operación de reciclaje en sí. Sin embargo, estos *tickets* son insuficientes para cubrir todos los costos de reciclaje y los fabricantes son responsables de financiar los costos restantes (Hester y Harrison, 2009).

Cuadro 14
Costo de los tickets por unidad de electrodoméstico
(En dólares)

Electrodomésticos	Precio aproximado <i>recycling ticket</i>
Refrigeradores	30 – 38
Aires acondicionados	23 – 30
Televisores	18 – 24
Lavadoras	16 – 22

Fuente: Hester y Harrison, 2009.

El sistema emplea cinco *tickets* por artículo para reciclar y estos se utilizan para seguir el progreso del RAEE en el sistema de reciclaje con un número individual que lo identifique. En la Imagen 1 se muestra los *tickets* utilizados (Hester y Harrison, 2009).

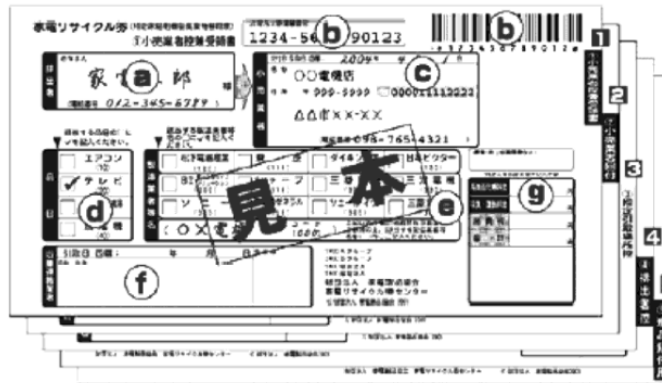
Mediante el *recycling ticket*, se recopila la información del RAEE desechado. En dicho *ticket* se solicitan los siguientes datos: fecha de emisión, ID del usuario final, comerciante/entidad legal, centro de acopio al que será transportado, tipo y modelo del producto y fabricante. Además mediante este medio, el consumidor puede localizar cuándo, dónde y de qué manera sus productos desechados son reciclados.

Para dar cumplimiento al monitoreo del sistema los comerciantes y los fabricantes/entidades legales guardan el *recycling ticket* por 3 años después de la emisión. Por su parte, los consumidores que hayan reciclado sus electrodomésticos pueden verificar si sus unidades han sido recolectadas en un sitio de recolección designado. Lo anterior se puede realizar accediendo al sitio web de *Home Appliance Recycling Ticket Center of the Association for Electric Home Appliances* (Velasco, 2008).

¹⁹ *Ticket* de reciclaje.

Imagen 1

Ejemplo de *tickets* utilizados en el sistema de reciclaje japonés bajo la *Home Appliances Recycling Law*



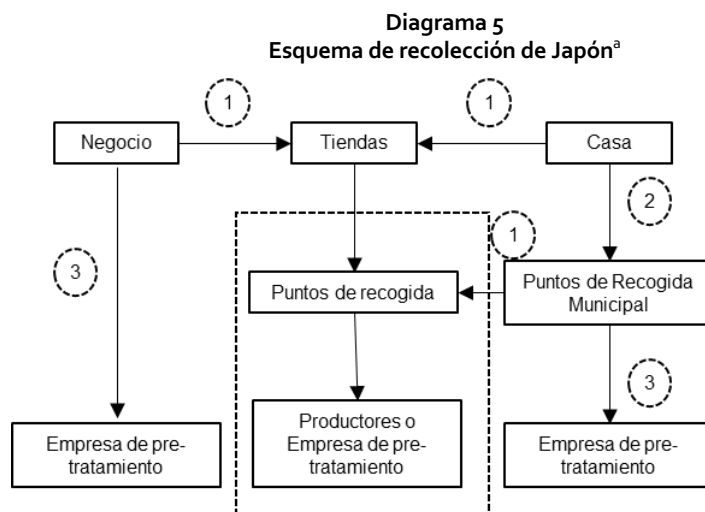
1. Comerciante al por menor
2. Volver al minorista desde el sitio de devolución designando
3. Sitio designado de devolución
4. Consumidor
5. Conectado al electrodoméstico

Fuente: Hester y Harrison, 2009.

Dado que la mayor parte de los RAEE en Japón se generan en el país, el flujo de tratamiento bajo la Ley de Reciclaje de Aparatos Domésticos contiene principalmente una sola ruta, cuyas principales actividades del sistema se describen a continuación:

- Un consumidor paga las tarifas de recolección, transporte y reciclaje de un electrodoméstico específico (aire acondicionado, televisores, refrigeradores o lavadoras) para ser depositados en una tienda de electrodomésticos que los devolverá.
- Un minorista/tienda asume la responsabilidad de recuperar cualquiera de los electrodomésticos que vendió y de entregarlo a su fabricante.
- Un fabricante o importador trata y recicla adecuadamente cualquiera de los aparatos que fabrica o importa.

El diagrama 5 muestra el esquema de recolección de RAEE en Japón.



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Sasaki, 2004.

^a 1 = Los hogares, los municipios y las empresas pagan la tarifa de pretratamiento (2.835 JPY ≈ 0,0094 USD); 2 = Depende de los municipios si recauda, cuánto cobra y cómo tratar; 3 = La tarifa depende de los casos. El sistema dentro de la línea discontinua está organizado y financiado por los productores.

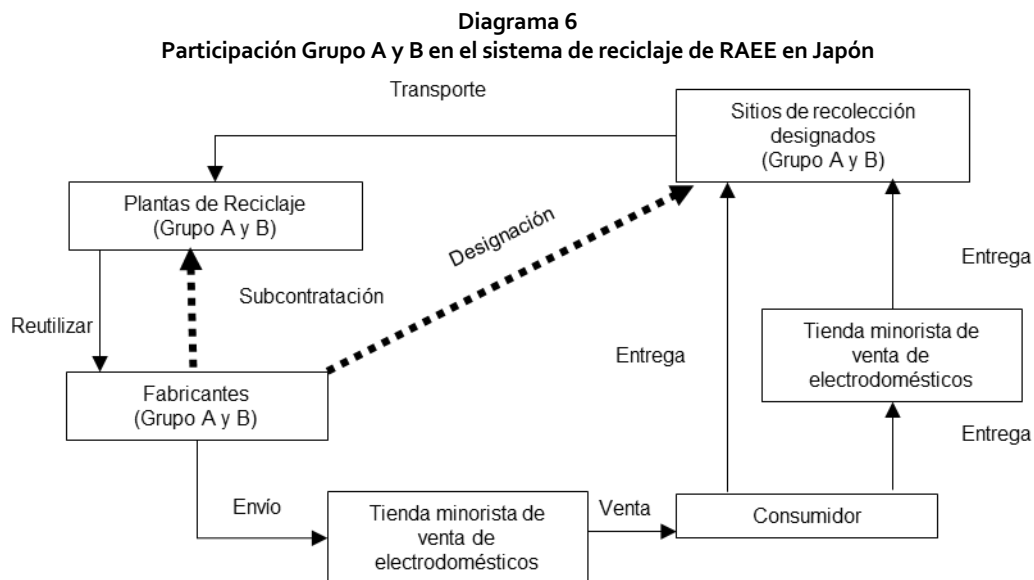
Los consumidores comerciales acceden a los servicios de una compañía de pretratamiento para tratar sus RAEE a su propio costo o alternatively, devuelven sus RAEE a los minoristas de AEE con el pago de la tarifa de pretratamiento. Los consumidores domésticos llevan sus RAEE a los minoristas con el pago de la tarifa de pretratamiento. Luego, los RAEE son llevados a los puntos de recogida de productores. Algunos municipios, principalmente en áreas rurales, se hacen cargo de los RAEE de los hogares. En tales casos la tarifa de pretratamiento depende de los municipios que contratan los servicios de la compañía de pretratamiento a su cargo o los devuelven a los puntos de agregación con el pago de la tarifa de pretratamiento. Finalmente, es responsabilidad de los productores hacerse cargo de los RAEE recogidos de sus puntos de recogida de agregación (Sasaki, 2004).

La administración de la recolección y el procesamiento de los RAEE se lleva a cabo bajo el sistema de asociación de productores/fabricantes de electrodomésticos que se dividen en los Grupos A y B para las actividades de reciclaje de electrodomésticos. El Grupo A está compuesto por compañías que incluyen Matsushita, Panasonic, Electrolux y Toshiba, mientras que el Grupo B está formado por Daewoo, Hitachi, Sharp, Mitsubishi, Sanyo, Sony y otras empresas.

Los fabricantes tienen "sitios de recolección designados" específicamente para los Grupos A y B en todo el país para recuperar sus productos. Los consumidores al comprar el *ticket* de reciclaje de electrodomésticos lo entregan, ya sea directamente o a través de un minorista o tienda donde compra, a uno de los sitios de recolección designados.

El Grupo B emplea un sistema donde los residuos de aparatos domésticos se transportan a una de las plantas de reciclaje designadas que sea la más cercana y, en última instancia, se desmantelan, se tratan y reciclan en las plantas de reciclaje. Por otra parte, el Grupo A garantiza que los aparatos domésticos de desecho se envíen a una planta de reciclaje dentro de las instalaciones de los fabricantes o de la planta de reciclaje designada por los fabricantes para su tratamiento y reciclaje. En cuanto a esto, el Grupo A difiere del Grupo B en que algunos de sus fabricantes tratan y reciclan los desechos internamente (Bo e Yamamoto, 2010).

A continuación, la descripción del sistema de reciclaje japonés y las actividades de cada grupo (diagrama 6).



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Bo e Yamamoto, 2010.

La Ley de Reciclaje de Electrodomésticos establece unas tasas de reciclaje de los cuatro tipos de electrodomésticos, que han ido aumentando gradualmente (cuadro 15).

En el tercer año después de la plena aplicación de la ley, los objetivos se superaron en un grado relativamente alto para televisores (+23%) y aires acondicionados (+21%). Estos logros positivos se debieron en gran medida al reciclaje de vidrio CRT y metales mixtos, respectivamente (Tasaki, Terazono y Moriguchi, 2005).

Cuadro 15
Tasas de reciclaje de la ley de reciclaje de Japón
(En porcentajes)

	TV	Refrigeradores y freezers	Lavadoras	Aire acondicionado
Objetivo	55	50	50	60
1er año	73	59	56	78
2do año	75	61	60	78
3er año	78 (+23)	63 (+13)	65 (+15)	81 (+21)

Fuente: Tasaki, Terazono y Moriguchi, 2005.

Actualmente los requisitos legales para los electrodomésticos de la ley corresponden a: 80% para aires acondicionados; 55% para televisores CRT; 74% para televisores LCD y plasma; 70% para refrigeradores y congeladores; y 82% para lavadoras y secadoras de ropa (*Environmental Affairs and Recycling Office*, 2018).

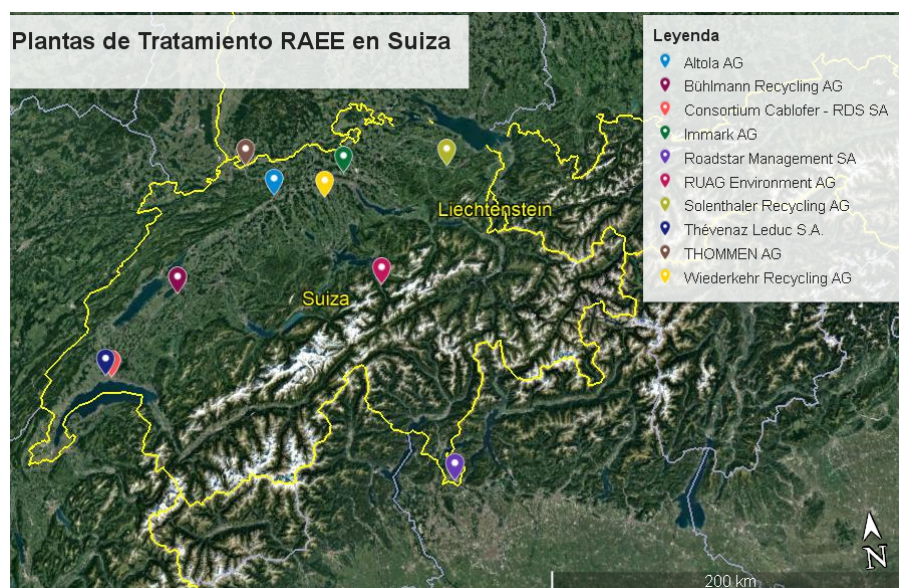
En lo que respecta a la logística principal, los minoristas no tienen que obtener una licencia para la recolección y el transporte de residuos de electrodomésticos. Éstos pueden contratar esta operación, pero solo para operadores con una licencia para la recolección y transporte de residuos municipales o industriales. Sin embargo, la logística secundaria, es decir, el transporte desde un sitio de recolección designado hasta una planta de reciclaje requiere certificación por parte del ministerio competente o una licencia para la recolección y transporte de desechos municipales e industriales. Estos sistemas de licencia y certificación aseguran la transparencia de la selección de los recolectores (Hotta, Santo y Tasaki, 2014).

3. Tratamiento y valorización

a) Suiza

Durante el proceso de reciclaje, los aparatos se separan manual y mecánicamente en las diversas fracciones de materiales y de contaminantes reciclables. Particularmente las piezas de electrodomésticos valiosas y sus componentes, así como los contaminantes que contienen, siguen siendo clasificados a mano. Además de la clasificación manual y mecánica, se incluye el desmantelamiento, trituración y recuperación de materiales (Hischier, Wager y Gauglhofer, 2005). A continuación se presenta la georreferenciación de las plantas de tratamiento de residuos eléctricos y electrónicos que funcionan actualmente en Suiza (Mapa 5).

Mapa 5
Ubicación plantas de tratamiento de RAEE en Suiza



Fuente: Elaboración propia en *Google Earth* sobre la base de información de sitios web de SWICO y SENS.

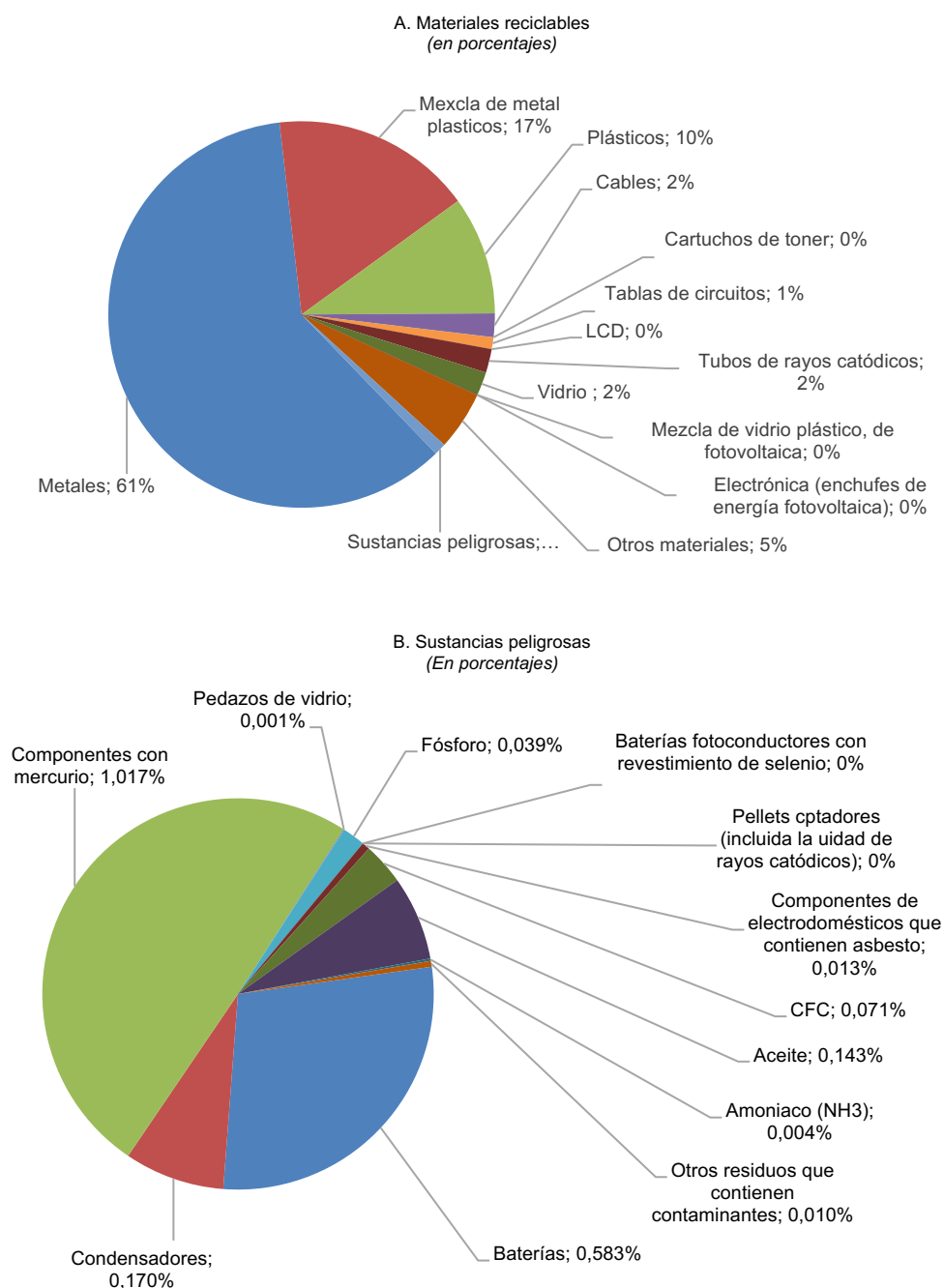
Dependiendo de la composición de los RAEE, las fracciones resultantes se pasan a refinadores, acondicionadores o trituradores finales. La mayoría de las fracciones necesitan ser refinadas o acondicionadas. Luego de esto, las fracciones pueden ser vendidas como materia prima secundaria o pueden ser dispuestas en sitios de disposición final. La refinación se realiza en compañías de refinación dentro y fuera de Suiza para fracciones como aluminio, baterías, tubos de rayos catódicos, metales ferrosos y no ferrosos, plásticos reciclables y tableros impresos (Schmidt, 2005).

El acondicionamiento se realiza principalmente en Suiza e incluye la incineración de residuos sólidos municipales en alrededor de 36 plantas para fracciones como los residuos plásticos y la incineración de residuos peligrosos para fracciones como los condensadores (Hischier, Wager y Gauglhofer, 2005). Una pequeña porción, actualmente menos del 2%, se destina a vertederos (SAEFL, 2004). Los vertederos suizos están sujetos a un estricto control de emisiones y son comparativamente restrictivos con respecto a los materiales aceptados. Desde el año 2000 ya no se admiten materiales combustibles para su disposición final en los vertederos (Tam, 2011).

Muchas de las fracciones reciclables producidas no se pueden reciclar en Suiza y se exportan directamente a otros países, como Austria, Alemania, Bélgica, Japón, Italia y Francia. La exportación a países que no son miembros de la UE o de la OCDE no está permitida (Goodship, Stevels y Huisman, 2019).

La composición de las fracciones generadas el año 2017 se presenta en el gráfico 2. Las sustancias peligrosas, que contabilizan menos del 1% del total, se muestran en forma separada.

Gráfico 2
Composición de las fracciones de RAEE generados el 2017
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de SENS, SWICO y SLRS, 2018.

Los tres metales comúnmente encontrados en los desechos electrónicos en Suiza son: hierro (Fe, 35% en peso), aluminio (Al, alrededor del 6% en peso) y cobre (Cu, alrededor del 5% en peso). El contenido de todos los demás metales está en el rango de hasta 1% en peso (BAFU, 2017). Las cantidades generadas al año de cada elemento se detallan en el cuadro 16:

Cuadro 16
Elementos presentes en RAEE
(En toneladas/año)

Elementos	Toneladas al año
Hierro	24 000
Aluminio	4 300
Cobre	3 300
Cadmio	1
Mercurio	0,1

Fuente: BAFU, 2017.

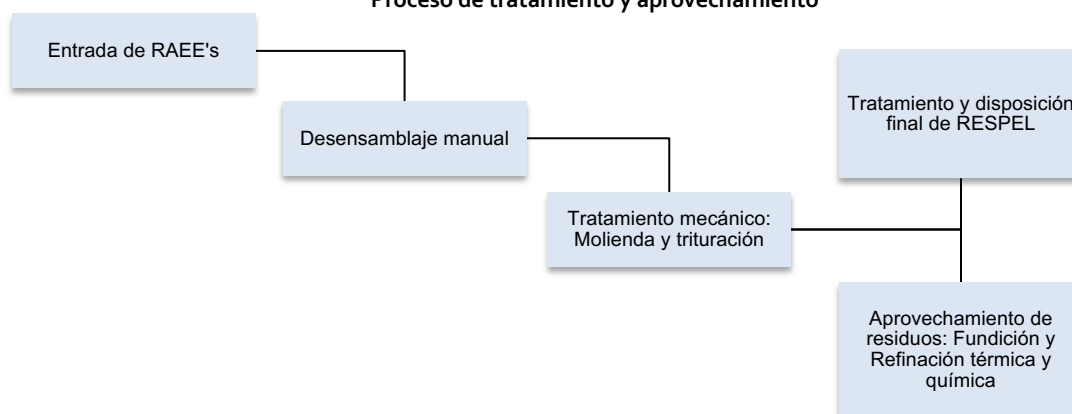
b) Colombia

En relación al tratamiento y aprovechamiento de los residuos informáticos recolectados, el primer tratamiento es el reacondicionamiento; es decir, aquellos equipos que todavía sirven, se separan y reacondicionan para ser donados a una organización no gubernamental. En cambio, los equipos que ya no sirven se reciclan, se desensamblan y clasifican en 2 grupos: 1) los de corrientes limpias, que se ingresan nuevamente al mercado y 2) los de corrientes peligrosas que se disponen de forma segura y responsable, o bien se emplean para generar energía eléctrica (EcoCómputo, 2019a).

Respecto a los procesos de valorización de estos residuos Colombia no posee tecnologías disponibles para su realización. Los gestores de RAEE no utilizan tecnologías automatizadas o semi-automatizadas para el desmontaje y recuperación de materiales. Básicamente el desmontaje es de tipo manual y las partes recuperadas se exportan para su recuperación y reciclaje de materias primas en otros países. Aún no hay tecnologías para la recuperación de otros materiales, especialmente de aquellos altamente valorizables (UNESCO, OMS, ONUDI, OMPI, CEPAL, 2015).

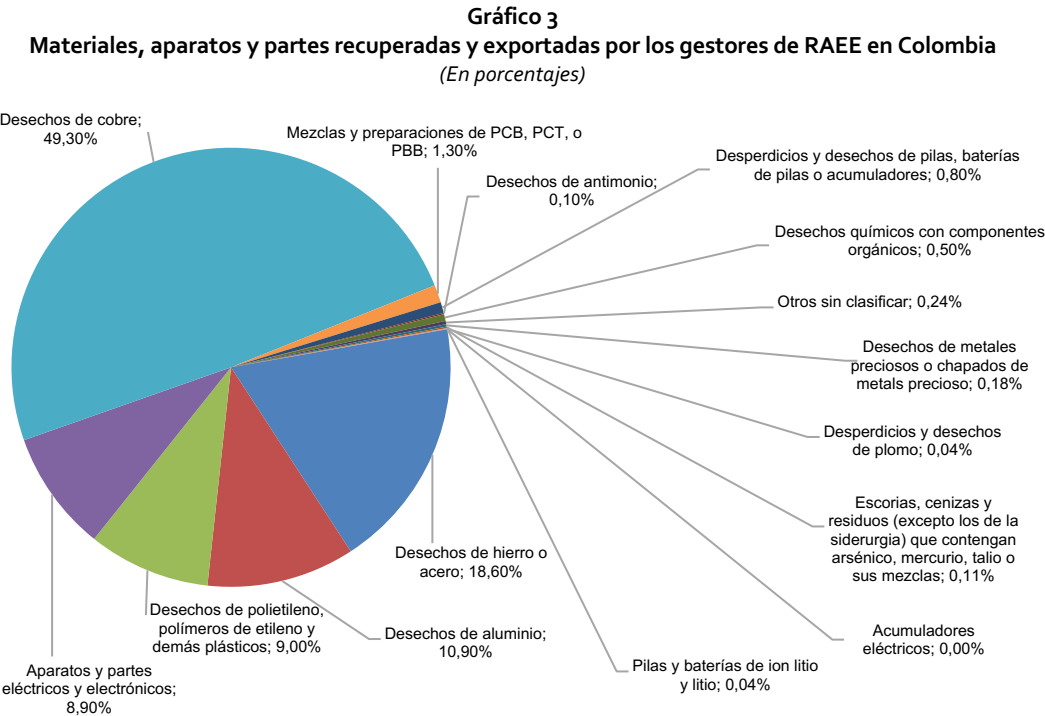
Solo una cuarta parte de las empresas gestoras formales realiza actividades de desensamble, recuperación y aprovechamiento local de materiales valiosos tales como los metales ferrosos y no ferrosos, mientras que las demás corrientes altamente valorizables como las tarjetas electrónicas se exportan a los mercados internacionales para la recuperación de metales preciosos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017b). El diagrama 7 describe el proceso general de los tratamientos y aprovechamiento de los RAEE en Colombia.

Diagrama 7
Proceso de tratamiento y aprovechamiento



Fuente: Elaboración propia sobre la base de GAIA VITARE, 2010.

El gráfico 3 presenta la composición de los materiales, aparatos y partes recuperadas y exportadas por los gestores de RAEE.



Fuente: Elaboración propia sobre a base de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017b.

La capacidad actual instalada de gestión formal de RAEE se calcula en 22.842 toneladas por año. Este sistema cuenta con una red de operadores de 6 empresas gestoras relevantes, cuya capacidad operativa máxima mensual es de 1.903 ton/mes para la gestión de residuos de computadores y/o periféricos, y una capacidad de almacenamiento de 2.168 ton/mes de RAEE. La capacidad de estas empresas se presenta en el cuadro 17.

Cuadro 17
Capacidad operativa y gestores de RAEE, 2018

Gestor	Capacidad operativa máx. (en toneladas/mes)	Capacidad operativa máx. anual	Área total de planta (en M²)	Capacidad de almacenamiento RAEE (en toneladas/mes)
METALES LA UNIÓN S.A.S	120	1 440	1 050	218
OCADE S.A.S.	20	240	600,1	20
CLICK ON GREEN S.A.S.	93	1 122	680	50
LITIO S.A.S.	570	6 840	10 000	570
GAIA VITARE S.A.S.	600	7 200	4 200	710
CI RECYCLABLES S.A.S.	500	6 000	7 000	600
TOTAL	1 903	22 842	23 530,1	2 168

Fuente: Elaboración propia sobre la base de EcoCómputo, 2019c.

Mapa 6
Ubicación plantas de tratamiento de RAEE en Colombia



Fuente: Elaboración propia en Google Earth.

Los estudios existentes en Colombia, concluyen que en el sector domiciliario, ante la insuficiencia de sistemas formales de recolección, la disposición de terceros a pagarle al usuario por sus residuos está causando de manera indirecta el crecimiento del sector informal dedicado al aprovechamiento de los RAEE (Programa Seco/Empa sobre la Gestión de RAEE en América Latina, 2010). Según este mismo estudio, el sector informal se hizo cargo de la recolección, desmontaje y comercialización del 14% del total de computadores descartados en 2009.

No obstante, el flujo de componentes económicamente valiosos presentes en una fracción de los materiales recogidos o desensamblados por los recuperadores informales llega hasta gestores formales o continúa la cadena del manejo informal en las llamadas “chatarrerías”.

Las técnicas de aprovechamiento de RAEE utilizadas en Colombia se describen a continuación:

- **Fundición:** Se refiere a la fundición y el reciclaje común de metales ferrosos y no ferrosos, como chatarra, aluminio, cobre. En Colombia se realiza este proceso para algunos plásticos recuperados de los RAEE y para los metales como el acero al carbón y eventualmente aluminio. El resto de los materiales que son fundidos como el cobre o las aleaciones como la soldadura de estaño-plomo utilizada en las PCB (*Printed Circuit Board*)²⁰ y el bronce son procesados y recuperados en el exterior junto con un gran porcentaje de los plásticos recuperados de la gestión de RAEE.
- **Refinación térmica y química:** Se refiere a la recuperación y separación de metales nobles y no ferrosos contenidos en las tarjetas de circuito impreso. Con el fin de aislar los metales preciosos, se utilizan como procesos la pirólisis, la hidrólisis o una combinación de ambas. En la pirólisis, los metales nobles son separados de los otros materiales no nobles, a través de la fundición o la oxidación. En la hidrólisis, los metales nobles son disueltos en *Aqua regia* (compuesto de ácido clorhídrico y ácido nítrico) o mediante una solución de ácido clorhídrico

²⁰ Las PCB, en español Tarjeta de Circuito Impreso, corresponden a una placa que soporta mecánicamente y conecta eléctricamente componentes electrónicos y eléctricos, que se interconectan entre ellos. Estos componentes pueden ser, chips, condensadores, diodos, resistencias, conectores, etc.

y gas de cloro. Posteriormente, ciertos metales pueden ser precipitados o reducidos directamente en relación con una sal o un gas orgánico. Este tipo de proceso por sus altos costos y complejidad solamente es realizado de una manera profesional en el exterior y realmente en un número muy limitado de instalaciones dedicadas casi exclusivamente a realizar esta labor con materiales exportados desde todas partes del mundo.

- **Incineración:** Este proceso es utilizado para lograr la destrucción de algunas sustancias de una manera segura o para permitir la generación de poder calorífico a partir de materiales, los cuáles no pudieron ser reincorporados nuevamente en la cadena de reutilización de un proceso productivo. Este tipo de prácticas deben ser consideradas como una última alternativa después de haber analizado el reúso de los materiales y el reciclaje de estos ya que además de que destruyen el material, existen riesgos de generación de sustancias peligrosos al ambiente, como las dioxinas y furanos, por lo tanto, los equipos utilizados deben ser de última tecnología y cumplir con la normatividad ambiental vigente en términos de emisiones y manejo de incineradores.
- **Relleno sanitario:** Aunque la disposición de RAEE en rellenos sanitarios ordinarios está prohibida por tratarse éstos de residuos peligrosos, esta es una práctica muy común.
- **Relleno de seguridad:** La disposición de RAEE en rellenos de seguridad debería ser la última alternativa a considerar y debería limitarse únicamente a dar disposición final bien sea a cenizas de materiales de RAEE incinerados o a aquellos elementos encontrados dentro de los RAEE que definitivamente no puedan ser reciclados como materia prima.

c) **Japón**

Los residuos de electrodomésticos son separados en cuatro categorías y, por consiguiente, se gestionan en cuatro líneas de tratamiento. El proceso de reciclaje en planta consta de tres etapas: i) recolección, ii) tratamiento y iii) reciclaje. La etapa de tratamiento se divide además en desmantelamiento (trabajo manual) y final (separación). El desmontaje manual es seguido por la trituración mecánica y la recuperación de materiales. Aunque el reciclaje se realiza internamente por componentes, a veces los componentes difíciles de reciclar se subcontratan. Por otra parte, los municipios se encargan de entregar electrodomésticos recogidos a los fabricantes y al organismo designado para que sean posteriormente reciclados (Menikpura, Santo y Hotta, 2014).

En la legislación japonesa, la tasa de reciclaje incluye el reciclaje mecánico o la reutilización de piezas/materiales retirados de los RAEE. El objetivo de reciclaje de la televisión se fijó en el 55% y Japón alcanzó una tasa de reciclado del 78% en 2003. En cuanto a la tasa de pretratamiento se permite que los productores cobren a los consumidores por su pretratamiento para reciclar los RAEE.

Como ya se indicó, el sistema de gestión de Japón cuenta con dos grupos gestores (A y B). El grupo A desarrolló un sistema de reciclaje basado en el uso efectivo de la infraestructura de propiedad y operado por contratistas de gestión de residuos existentes. El grupo B desarrolló otro sistema de reciclaje con la construcción de nuevas instalaciones específicamente diseñadas para el reciclaje de electrodomésticos. Los minoristas tuvieron que clasificar los residuos de electrodomésticos de acuerdo con las especificaciones del fabricante antes de llevarlo a los sitios de recolección de los respectivos grupos. Actualmente, y buscando mejorar la eficiencia, todos los sitios de recolección designados toman productos del Grupo A y del Grupo B (Hotta, Santo y Tasaki, 2014).

Cada grupo ha establecido sus propia empresa de gestión de reciclaje: *Ecology Net Co.* (Grupo A) y *R Station Corporation* (Grupo B). Estos dos grupos de empresas son responsables de la coordinación entre los fabricantes, recicladores y otros negocios relacionados, de la gestión y distribución de costos de reciclaje, de la gerencia y análisis de datos sobre operaciones en las plantas de reciclaje, de los informes y consejos sobre reciclaje, sistemas y tecnologías, entre otros deberes (Hotta, Santo y Tasaki, 2014).

4. RAEE generados y tendencias

a) Suiza

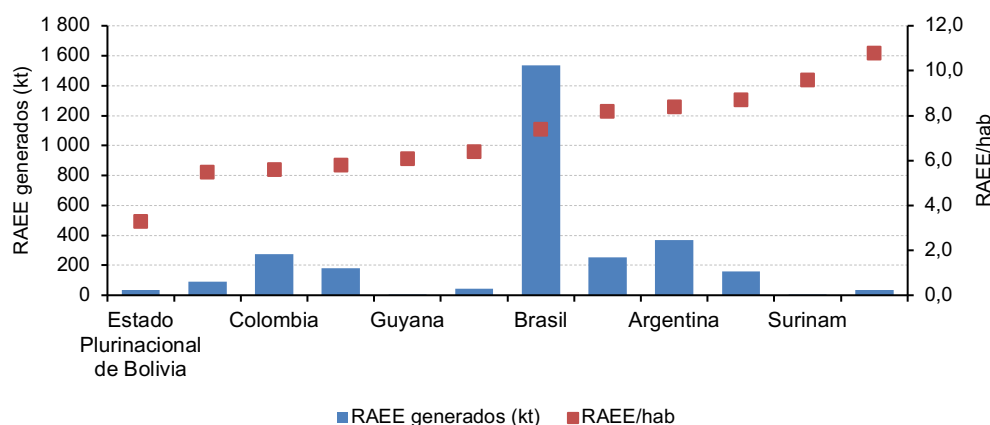
Según el reporte del Observatorio Mundial de Residuos Electrónicos (Baldé C. P. *et al.*, 2017), los países europeos muestran los mejores resultados en cuanto a recogida de residuos electrónicos. Suiza lidera la recolección entre los países del continente europeo con una tasa de recolección del 74% en relación con el total de los desechos generados. Seguido se encuentran Noruega (con una tasa de recolección del 74%), Suecia (con un 69%), Finlandia e Irlanda (ambos con un 53%) y Dinamarca (con un 51% de los desechos generados).

En este reporte se indica que Suiza alcanzó en 2016 una generación de 22,2 kg/hab de RAEE, lo que equivale a 184 mil toneladas de residuos generados. De éstas, 134 mil toneladas son recogidas mediante los sistemas oficiales SWICO/SENS/SLRS. Después de varios años de volúmenes en continuo aumento, se observó, en 2017, una disminución del 7% en la cantidad de RAEE procesados. La causa de la disminución se ven en los pequeños aparatos eléctricos y grandes aparatos eléctricos. Los volúmenes procesados en categorías como paneles solares y refrigeradores contrarrestaron la tendencia general (SENS, SWICO y SLRS, 2018).

b) Colombia

En América Latina, al 2016 Colombia ocupó el tercer lugar de mayor volumen de RAEE generados (275 mil toneladas), luego de Brasil (1.534 mil toneladas) y Argentina (368 mil toneladas) (gráfico 4). Sin embargo, considerando la población de Colombia, de aproximadamente 48 millones de personas, su tasa de generación de RAEE por habitante se ubica en un rango bajo.

Gráfico 4
Generación de RAEE totales y por habitante, año 2016
(En kilotoneladas y en cantidad de RAEE por habitante)



Fuente: Elaboración propia en base a Baldé C. P. *et al.*, 2017.

Respecto a la situación de Colombia sobre la generación de RAEE, al 2014 se estimó en 252.000 toneladas, equivalentes a 5,3 kg por habitante (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017a). Para el año 2016 se registró una cantidad de residuos eléctricos de 5,6 kg por habitante, equivalente a 275.000 toneladas (Baldé C. P. *et al.*, 2017). Los residuos recolectados se concentraba en televisores y computadores con el 34% de los RAEE.

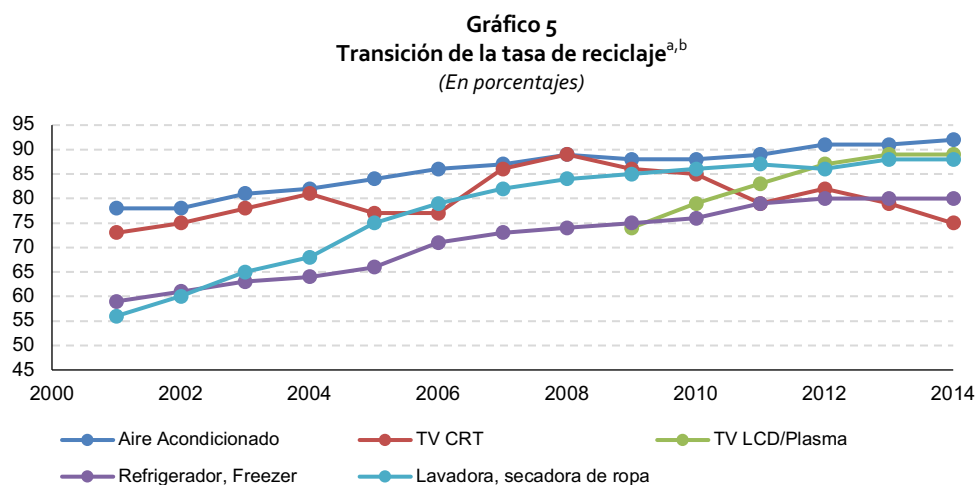
Colombia es uno de los 6 países de Latinoamérica que cuenta con una legislación nacional para RAEE²¹. Como se detalló en la sección “Marco Normativo”, la legislación colombiana ha establecido reglamentos relacionados a estos residuos desde el año 2010: la Resolución 1512 para equipos informáticos y la Resolución 1511 para equipos de iluminación, establecieron la obligación de los productores de formular, presentar e implementar los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos (SRI-*Sustainable Recycling Industries*, 2017).

Como parte de la cuantificación y caracterización de RAEE, se identificó también el número de importadores de AEE que están siendo regulados y que participan en los sistemas de recolección y gestión de RAEE reportados en el 2015 ante la autoridad de licenciamiento ambiental (ANLA). La información muestra un total de 133 importadores para computadores, 66 para impresoras, 85 para bombillas (SRI-*Sustainable Recycling Industries*, 2017).

Para la implementación del sistema de gestión fue fundamental definir las operaciones de recolección, transporte, almacenamiento, reacondicionamiento, tratamiento y/o aprovechamiento y disposición final, las cuales se desarrollan conjunto al impulso de actividades que contribuyen a la entrega de equipos en desusos y creación de conciencia ambiental en la comunidad respecto al manejo de residuos (RELAC, 2011).

c) Japón

Japón se caracteriza por apoyarse en un sólido marco jurídico, un avanzado sistema de recolección de desechos y una infraestructura de procesamiento desarrollada (Baldé C. P. *et al.*, 2017). El sistema de recogida de residuos electrónicos se basa en la norma de Responsabilidad Extendida al Productor (REP), que exige a los fabricantes de hacerse cargo al final de la vida útil de diferentes tipos de aparatos electrodomésticos. Conjuntamente, las leyes de reciclaje han obligado a los fabricantes a modificar sus procesos para eliminar compuestos de los AEE como, por ejemplo, el plomo (Fundamentos, 2008). La tasas de recolección se presentan en el gráfico 5.



Fuente: Elaboración propia sobre la base de *Waste Management and Recycling Department, Japan*, 2015.

^a El televisor LCD / Plasma y el secador de tela se agregaron al tema de la colección en 2009.

^b La tasa de reciclaje de CRT TV se suprimió de 2009 a 2011, porque parte de los artículos de la misma categoría se ha convertido en objetivo de la transacción de “valor inverso”.

²¹ Los otros países con legislación corresponden a Perú, Chile, Ecuador, Estado Plurinacional de Bolivia y Brasil. Perú promulgó su reglamento para la gestión y manejo ambiental de los RAEE en 2012. Ecuador adoptó normas específicas para regular el sistema de retirada para ciertas categorías de residuos electrónicos. En 2016, Chile promulgó el proyecto de ley 20.290 “Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclado”. En Argentina se han creado marcos jurídicos a nivel provincial, centrados en la recogida de residuos electrónicos (Baldé C. P. *et al.*, 2017).

Los residuos de electrodomésticos transportados a las plantas de reciclaje correspondientes pasan por procesos de reciclaje para recuperar materiales valiosos, como hierro, cobre, aluminio, vidrio y plástico. Como puede observarse en el cuadro 18, los fabricantes e importadores han logrado con éxito tasas de reciclaje superiores a los requisitos legales. Las tasas de reciclaje obtenidas en el período 2015-2017 para los cuatro tipos de residuos de electrodomésticos designados fueron las siguientes: 92% (superior al requisito legal (RL) del 80%) para aires acondicionados; 73% (RL 55%) para televisores CRT; 88% (RL 74%) para televisores LCD y plasma; 88% (RL 70%) para refrigeradores y congeladores; y 90% (RL 82%) para lavadoras y secadoras de ropa (*Environmental Affairs and Recycling Office*, 2018).

Cuadro 18
Tasas de reciclaje, 2015-2017
(En porcentajes)

	2015	2016	2017
Acondicionadores de aire	93%	92%	92%
Televisores CRT	73%	73%	73%
Televisores LCD y plasma	89%	89%	88%
Refrigeradores y congeladores	82%	81%	80%
Lavadoras y Secadoras de Ropa	90%	90%	90%

Fuente: *Environmental Affairs and Recycling Office*, 2018.

Particularmente para el año 2017, Japón recogió 546,4 mil toneladas de RAEE a través de sus canales oficiales (Baldé C. P. *et al.*, 2017), equivalentes a un total de 11,7 millones de unidades de las cuatro categorías designadas (el valor representa un aumento del 5,7% con respecto al año anterior) que fueron transportadas a plantas de reciclaje de electrodomésticos. El cuadro 19 ilustra la cantidad de equipos recolectados (*Environmental Affairs and Recycling Office*, 2018).

Cuadro 19
Número de residuos de electrodomésticos recolectados en sitios designados en Japón, año 2017

Equipos	Número de electrodomésticos recolectados (miles de unidades)	Porcentaje
Aires acondicionados	2 833	23,8%
Televisores CRT	1 039	8,7%
Televisores LCD y plasma	1 493	12,6%
Refrigeradores y congeladores	2 982	25,1%
Lavadoras y Secadoras de Ropa	3 538	29,8%
Total de cuatro productos designados	11 885	100%

Fuente: *Environmental Affairs and Recycling Office*, 2018.

C. Resumen

En estos tres países el sistema de gestión de RAEE está sustentado, desde sus inicios, en la política de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). De este modo, la responsabilidad del sistema de gestión de RAEE, en sus etapas de recuperación, reciclaje y disposición final, recae en los productores, importadores y distribuidores de aparatos eléctricos y electrónicos.

La cobertura de RAEE no ha sido la misma en los tres países. En Suiza, un único decreto promulgado en el año 1998 define explícitamente los siete tipos de artefactos considerados, entre ellos: electrodomésticos, equipos informáticos, herramientas, juguetes y lámparas. En Japón es posible identificar dos leyes promulgadas en 1998 y 2012, cuya cobertura se restringe a televisores, aires acondicionados, refrigeradores, lavadoras y pequeños electrodomésticos. Por último, en Colombia, se dispone de dos resoluciones

promulgadas en el año 2010, para el tratamiento específico de computadores, periféricos y bombillas, y una tercera ley promulgada en 2013 que, si bien establece la responsabilidad de los productores, no define los tipos de RAEE afectos. Si se observan las fechas de promulgación de las leyes, Suiza y Japón cuentan con más de dos décadas de experiencia. Colombia, por su parte, con menos años de experiencia contó con el acompañamiento de la institución suiza EMPA para el desarrollo de su marco legal de gestión de RAEE. El cuadro 20 resume los aspectos relevantes del marco normativo de los países estudiados.

Cuadro 20
Principales aspectos de las normativas de Suiza, Colombia y Japón

País	Año inicio legislación	Leyes asociadas	Artefactos afectos
Suiza	1998	Decreto sobre la Devolución, la Recolección y la Disposición (VREG, 1998)	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos electrónicos de consumo • Dispositivos de oficina, tecnología de la información y la comunicación • Refrigeradores • Electrodomésticos • Herramientas (se excluyen grandes herramientas industriales fijas) • Equipamiento deportivo y de ocio y juguetes • Lámparas y bombillas
Colombia	2010	Resolución 1512 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas informáticos personales, como por ejemplo computadores personales, unidades centrales, <i>mouse</i>, pantalla, teclado, y computadores portátiles
		Resolución 1511 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Impresoras
		Ley 1672 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Lámparas • No específica
Japón	1998	<i>Home Appliance Recycling Law</i> (1998)	<ul style="list-style-type: none"> • Televisores • Aires acondicionados • Refrigeradores • Lavadoras
		<i>Small Home Appliance Recycling Law</i> (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeños electrodomésticos y aparatos electrónicos para su uso en la vida diaria (i.e. PC, teléfonos móviles, VTR, DVD, cámaras digitales, relojes y secadores de pelo)

Fuente: Elaboración propia sobre la base de BAFU, 2019a; MAVDT 2010c y 2010d; MAVDT, 2013 y Amemiya, 2018.

Los sistemas de gestión de RAEE implementados en Suiza, Colombia y Japón se desarrollan al alero de fundaciones, corporaciones y asociaciones, pudiendo tratarse de organizaciones sin fines de lucro o representantes de empresas fabricantes o importadores. Los objetivos de estos sistemas están estrechamente asociados con industrias específicas, de modo que responden a las necesidades particulares de estas industrias o empresas. Los sistemas de gestión existentes y la cobertura de los RAEE en dichos sistemas se presentan en el cuadro 21.

La aplicación de tarifas para la cobertura de los costos de los sistemas de gestión muestra diferencias relevantes en los países analizados. En Suiza, el sistema contempla la aplicación de la *Advanced Recycling Fee* (ARF), la cual corresponde a una tarifa que se aplica sobre los productos en los puntos de venta y que es pagada por los usuarios al momento de la compra. En el caso de Colombia y Japón, solo el reciclaje de ciertos electrodomésticos tiene asociada una tarifa, la cual es cancelada por los usuarios al momento de la entrega del aparato a los sistemas de gestión.

Para el caso de pequeños aparatos informáticos en Colombia, el reciclaje de los mismos no tiene un costo asociado. De igual modo, en el caso de Japón, tampoco existe una tarifa asociada al reciclaje de pequeños electrodomésticos puesto que las ganancias del reciclaje logran cubrir los costos del sistema.

La recolección de los RAEE en los países se realiza a través de distintos canales que varían dependiendo del tipo de usuario o entidad. En este sentido se identifican canales diferenciados para

individuos privados, municipios y empresas u organizaciones, usualmente conocidos como sistemas *Business to Business* (B2B) y *Business to Consumer* (B2C). El mecanismo de recolección comúnmente identificado corresponde a los “puntos de recolección”, los cuales están ubicados en distintas ciudades y su objetivo es la recepción de los RAEE entregados por los usuarios finales. Estos puntos están ubicados en comercios de minoristas de equipos eléctricos y electrónicos, como es el caso de Suiza y Japón, o pueden corresponder a puntos de recogida de las empresas gestoras, como es el caso de SWICO en Suiza o de EcoCómputo y Lúmina en Colombia. En general, existe amplia difusión respecto de los puntos de recepción, la cual está disponible en las páginas web de las empresas.

Cuadro 21
Sistemas de gestión de RAEE en Suiza, Colombia y Japón

País	Sistemas de Gestión	Categorías consideradas	Tarifa
Suiza	SWICO <i>Recycling</i>	Equipos eléctricos y electrónicos utilizados en informática, electrónica de consumo, equipos de oficina, comunicaciones, industria gráfica, tecnología de medición y tecnología médica	Incorporada al momento de la compra de los consumidores
	SENS <i>eRecycling</i>	Equipos domésticos eléctricos y electrónicos (grandes y pequeños aparatos, como lavadoras, refrigeradores, hornos, equipos para edificios, jardines y pasatiempos, juguetes y juegos	
	SLRS (<i>Swiss Lighting Recycling Foundation</i>)	Lámparas	
Colombia	EcoCómputo	Computadores y periféricos	Sin costo
	Red Verde	Refrigeradores (de una puerta, dos puertas y minibar), aires acondicionados, lavadoras y hornos microondas	Cobrada al momento de la recolección
	Lúmina	Lámparas	Sin costo
Japón	Grupo A: Matsushita, Panasonic, Electrolux y Toshiba	Grandes electrodomésticos	Pagada a través del <i>recycling ticket</i> al momento de la entrega del RAEE
	Grupo B: Daewoo, Hitachi, Sony, otros	Pequeños electrodomésticos y aparatos electrónicos	Sin costo

Fuente: Elaboración propia sobre la base de SRI - Sustainable Recycling Industries, 2015; SENS, SWICO, SLRS, 2011; Red Verde, 2019b; EcoCómputo, 2019c; Lúmina, s.f. y Amemiya, 2018.

Una de las principales diferencias en el caso de Japón es la clasificación de los sistemas de gestión en función de cómo se realiza el tratamiento de los RAEE. Existe por una parte el Grupo A, el cual corresponde a un conjunto de empresas que garantiza que los residuos se envíen a plantas de reciclaje dentro de las instalaciones de los fabricantes o de la planta de reciclaje designada por los fabricantes para su tratamiento y reciclaje. Por otra parte, el Grupo B emplea un sistema donde los residuos de aparatos domésticos se transportan a una de las plantas de reciclaje designadas y, en particular, a la más cercana.

El tratamiento y valorización de los RAEE está directamente relacionado al tipo de tecnologías disponibles. En Colombia no se cuenta con tecnologías automatizadas o semi-automatizadas para el desmontaje y recuperación de materiales, por lo que el proceso de desmontaje es básicamente manual y las partes recuperadas son exportadas para su recuperación y reciclaje de materias. En cambio, Japón y Suiza realizan inicialmente una clasificación y separación manual que posteriormente es seguida de procesos de trituración mecánicos y la recuperación de materiales en compañías de refinación e instalaciones de fundición.

En cuanto a la efectividad de los sistemas de gestión, destaca la experiencia de Suiza, que lidera la recolección en el continente europeo con una tasa de recolección del 74% del total de los desechos generados. En Japón destacan las tasas de recolección para los cuatro electrodomésticos legislados: 92% para aires acondicionados, 73% para televisores CRT, 88% para televisores LCD y plasma, 88% para refrigeradores y congeladores, y 90% para lavadoras y secadoras de ropa. Finalmente, en Colombia destacan los resultados obtenidos por el sistema EcoCómputo, que recolectó al año 2012, 143 toneladas de residuos, valor que logró aumentar en 16 veces al año 2018 alcanzando una cantidad de 2.376 toneladas.

II. Comparación entre valorización y extracción minera en los Países Andinos

A. Recuperación de metales por tonelada de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)

Los aparatos eléctricos y electrónicos son una fuente de metales preciosos que representan una importante oportunidad económica. Los RAEE están compuestos por diversos metales, algunos básicos como: cobre, hierro, litio, níquel, estaño, aluminio o zinc; otros preciosos como: oro, plata, paladio o rutenio. También están compuestos por metales pesados como: plomo, arsénico, cadmio, cobalto, cromo, mercurio o selenio, y por materiales inertes como: vidrio y plásticos (Alcívar Trejo, Acebo Moran y Calderón Cisneros, s.f.).

El aprovechamiento de estos materiales en los RAEE se enfoca en: oro, plata, paladio y cobre, por sus propiedades de resistencia a la fractura, conductividad térmica y eléctrica, y su desempeño a altas temperaturas. También destaca la capacidad de los metales para ser reutilizados varias veces como materia prima en procesos de fundición, minimizando la necesidad de extraer de la minas y procesar material virgen y reduciendo, también, el uso de agua y energía en las operaciones extractivas (Ávila Soto y Jaramillo, 2013).

Un claro ejemplo de lo planteado es que por cada tonelada de mineral en una mina de oro solo se pueden extraer 5 gramos de oro, mientras que 1 tonelada de teléfonos móviles puede contener hasta 400 gramos de este metal. Una tonelada de teléfonos móviles usados (alrededor de 6000 teléfonos) contiene aproximadamente 3,5 kg de plata, 340 grs. de oro, 140 grs. de paladio y 130 kg de cobre. Asimismo, una tonelada de desechos de computadoras personales contiene más de 17 toneladas de mineral de oro (ITU-T, 2016). La Universidad de Naciones Unidas (UNU) estima que los recursos en perspectiva para las materias primas secundarias de los residuos electrónicos tienen un valor de 55.000 millones de euros de materias primas (Baldé C. P. *et al.*, 2015).

La composición de los metales preciosos que se encuentran en los teléfonos móviles y en los *laptops* (PC), en forma individual y en conjunto se ilustran en el diagrama 8 y esta composición se calcula en función de

las unidades puestas en el mercado en un determinado año para evidenciar el significativo volumen de metales presente en estos aparatos y el impacto que su comercialización tiene en la demanda de estos metales.

Diagrama 8
Ejemplos de la composición de teléfonos, PC y laptops y el impacto en la demanda de metales^a

Teléfonos móviles (a)	PC y Laptops (b)	Mina urbana (a + b)
1 600 millones unidades/año	350 millones unidades/año	Impacto en la producción minera
x 250 mg Ag ≈ 400 t Ag	x 1 000 mg Ag ≈ 350 t Ag	Ag: 22 000 t/a 3%
x 24 mg Au ≈ 38 t Au	x 220 mg Au ≈ 77 t Au	Au: 2 500 t/a 5%
x 9 mg Pd ≈ 14 t Pd	x 80 mg Pd ≈ 28 t Pd	Pd: 200 t/a 21%
x 9 g Cu ≈ 14 000 t Cu	x ~500 g Cu ≈ 175 000 t Cu	Cu: 16 M t/a 1%
~ 1 300 millones baterías de litio	~ 180 millones baterías de litio	Co: 88 000 t/a 20%
x 3,8 g Co ≈ 6 100 t Co	x 65 g Co ≈ 11 700 t Co	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de UNEP, 2013.

^a Los valores se basan en los volúmenes de ventas globales de estos dispositivos sugiriendo el contenido de metal significativo.

La presencia de componentes o materiales en los artefactos es variable. En efecto, es posible identificar materiales según categoría de artefactos (cuadro 22). Las categorías presentadas corresponden a la clasificación establecida por la Directiva 2012/19/UE (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.), y para ellas es posible determinar en distintas proporciones 49 materiales, entre ellos: metales, plásticos y vidrios.

Cuadro 22
Composición media de material por categoría de colección

Material (grs.)	Cat 1 Aparatos de intercambio de temperatura	Cat 2 Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ²	Cat 3 Lámparas	Cat 4 Grandes aparatos ^a	Cat 5 Pequeños aparatos ^b	Cat 6 Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños ^c
ABS	-	1 345,2	-	-	-	-
Ag	-	0,6	-	-	-	0,5
Al (general)	1 255,0	482,5	8,1	910,0	116,8	58,1
As	-	-	-	-	-	-
Au	-	0,1	-	-	-	0,1
Be	-	-	-	-	-	-
Bi	-	0,3	-	-	-	-
Br	-	2,4	-	-	0,1	1,5
Cd	-	-	-	-	0,6	0,2
Cerámicas	-	244,0	0,5	37,6	7,4	20,1
Cl	-	0,3	-	-	0,3	-
Co	-	0,1	-	-	0,2	0,3
Cr	-	1,3	-	-	-	0,6
Cono de vidrio	-	1 110,2	-	-	-	-
CRT	-	-	-	-	-	-
Pantalla de cristal	-	2 241,7	-	-	-	-
CRT	-	-	-	-	-	-
Cu	958,0	536,6	2,8	1 736,0	540,9	159,0
Epoxi	-	60,4	0,2	-	6,0	-

Material (grs.)	Cat 1 Aparatos de intercambio de temperatura	Cat 2 Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ²	Cat 3 Lámparas	Cat 4 Grandes aparatos ^a	Cat 5 Pequeños aparatos ^b	Cat 6 Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños ^c
Fe	7 848,0	766,8	0,1	4,9	291,8	80,3
Polvo fluorescente	-	-	2,4	-	-	-
Vidrio (blanco)	285,0	945,6	-	403,0	2,1	-
Vidrio (blanco - baja calidad)	-	-	9,9	-	-	-
Hg	-	-	-	-	-	-
Vidrio (blanco - alta calidad)	-	-	114,0	-	-	-
Vidrio (LCD)	-	131,4	-	-	0,1	4,0
Cristales líquidos	-	-	-	-	-	0,2
Mn	-	-	-	-	-	-
Ni	-	5,5	-	-	1,2	3,2
Aceite	205,0	-	-	1,7	3,2	-
Otros / inertes	420,0	263,0	-	11 920,0	55,6	80,1
Otros plásticos	-	-	-	-	1,3	1,0
Pb	-	8,6	0,1	0,8	0,7	1,1
PCB	-	-	-	0,7	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-
Plásticos generales	3 260,0	1 866,3	3,0	8 514,0	1 854,5	1 240,0
PE (HD)	-	159,0	-	-	-	-
PET	-	31,8	-	-	-	-
PS (poliestireno)	2 660,0	-	-	-	0,1	-
PUR	3 750,0	-	-	169,0	0,2	-
PVC	24,0	106,9	-	191,0	6,4	8,6
Sb	-	1,3	-	-	0,1	0,2
Sn	-	4,1	0,1	25,5	1,1	4,0
Acero inoxidable	1 000,0	-	0,5	907,0	107,3	51,5
Acero de baja aleación	16 415,0	2 071,2	2,3	29 411,0	1 599,4	2 470,0
Ciclopentano	47,0	-	-	-	-	-
Isobutano	11,0	-	-	-	-	-
CFC11	245,0	-	-	-	-	-
CFC12	97,2	-	-	-	-	-
Wood	-	70,3	-	-	110,5	-
Zn	-	10,9	-	7,7	1,3	4,0
Total [grs]	38 480	12 468	144	54 240	4 709	4 188

Fuente: Elaboración propia sobre la base de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

^a Con una dimensión exterior superior a 50 cm.

^b Sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm.

^c Sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm.

La valorización de los distintos componentes estará dada por la posibilidad de extracción de éstos dentro de los RAEE, reflejada en la tasa de recuperación del material y por los precios de comercialización de los componentes. Ambas variables se presentan en el cuadro 23.

Cuadro 23
Tasa porcentual de recuperación y valor medio del material recuperado

Componentes	Tasa de recuperación ^b	Precio de reventa (en dólares/tonelada)
Fe	100%	233
Acero de baja aleación	100%	296
Acero inoxidable	100%	843
Al	100%	1 262
Cu	100%	4 410
Cr	100%	1 313
Zn	100%	1 439
Vidrio	95%	37
PS	60%	805
PET	60%	-
ABS	60%	1 406

Componentes	Tasa de recuperación ^b	Precio de reventa (en dólares/tonelada)
PE	60%	682
Ag	50%	459 671
Au	50%	28 425 942
Pd	50%	14 976 945
La	30%	5 489
Ce	30%	6 353
Y	30%	38 367
Tb	30%	492 976
Eu	30%	498 043

Fuente: Elaboración propia sobre la base de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

^a Se considera el cambio de Euro por USD con valor de conversión 0,9021, Banco Central de Chile.

^b La capacidad de recuperación corresponde a la capacidad teórica de reciclar el material.

Los costos e ingresos asociados a la recolección y tratamiento de las distintas categorías de la Directiva UE de 2012 se presentan en el cuadro 24. Estos valores se obtuvieron utilizando los costos e ingresos provistos en la Revisión UNU 2008 sobre RAEE, por categoría de la Directiva UE 2002 y para esquemas de cumplimiento de larga duración. Estos costos e ingresos se asignaron a las nuevas categorías de 2012 utilizando una tabla de conversión basada en UNU-KEYs (UNU, CBS, BIO, REC, 2014).

Los costos totales de la tabla incluyen:

- Transporte y recogida (incluido el acceso a RAEE).
- Trituración, clasificación, desmantelamiento, pretratamiento.
- Incineración y vertedero de materiales no recuperables.
- Procesos de reciclaje.
- Procesos de recuperación.
- Otros costos.

Se debe considerar que los ingresos corresponden a los ingresos obtenidos por el reciclador de la venta de materiales después del tratamiento.

Cuadro 24
Costos netos de tratamiento de RAEE por categoría^a

Categoría	Costos totales (dólares/toneladas)	Ingresos totales (dólares/toneladas)	Costos netos de tratamiento (dólares/toneladas)
Cat 1	880	373	507
Cat 2	1 158	414	743
Cat 3	725	127	598
Cat 4 excl. PV	379	166	212
Cat 5	683	551	132
Cat 6	618	275	343
PV Paneles (dato 2011) ^b	158	14	144

Fuente: Elaboración propia sobre la base de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

^a Se considera el cambio de Euro por USD con valor de conversión 0,9021, Banco Central de Chile.

^b Con respecto a los paneles fotovoltaicos, los costos de tratamiento se obtuvieron del "Estudio sobre Paneles Fotovoltaicos de 2011 de la Comisión Europea que complementa la evaluación de impacto para una refundición de la Directiva RAEE". El estudio evaluó los costos de logística asociados con los paneles fotovoltaicos a 150 €/t y los costos de tratamiento a 25 €/t, basándose en el supuesto de que en 2011 los recicladores recuperaban solo el vidrio incluido en los paneles fotovoltaicos de forma voluntaria. Los ingresos obtenidos del vidrio de baja calidad recuperado se estiman en 15 €/t. La capacidad de recuperación corresponde a la capacidad teórica de reciclar el material.

B. Comparación de costos entre extracción minera y valorización de RAEE

América Latina es catalogada como “polo minero mundial” dado el potencial que posee en recursos minerales. La región lidera la inversión mundial en exploración minera (Minería Chilena, 2015), con seis países -México, Chile, Perú, Brasil, Colombia y Argentina- concentrando la mayor parte del total regional. Los países andinos que se analizarán con mayores detalles son Perú, Colombia y Chile.

En Perú el sector “minería e hidrocarburos” representa un 13% del PIB del país, del cual 17.530 miles de toneladas corresponden a la minería metálica donde se destaca la producción de hierro (55%), plata (22%) y cobre (13%) (Banco Central de Reserva del Perú, 2019). En Chile la minería representa un 11% de la economía nacional con una producción al 2018 de 14.824 miles de toneladas, centrada principalmente en la extracción de cobre el cual aporta el 9,1% al PIB, con una producción de 5,83 millones de toneladas al 2018 (Banco Central de Chile, 2019). Finalmente, la explotación de minas y canteras en Colombia representa el 6% del PIB, compuesta de principalmente de la extracción de petróleo crudo (10.382.291 barriles por día calendario - BPDC) y gas natural (27.030 millones de pies cúbicos por día calendario - BPDC), correspondiendo al 66% de la producción minera y la extracción de carbón de piedra y lignito (24%), en relación con esta última la producción de carbón al 2018 fue de 85,63 millones de toneladas (DANE, 2018 y MinTIC, 2019).

La Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) evaluó los costos de producción de cobre y destaca que la mayoría de los países alcanzó su máximo costo operacional entre 2012 y 2013, coincidiendo con el peak del precio del cobre, observándose una baja al año 2014. Una excepción a esto es Perú, presentando un incremento del 19% de los costos en el último año, como se puede observar en el cuadro 25.

Cuadro 25
Costo operacional promedio por país^a
(En centavos de dólar/libras)

País	Costo			Posición	
	2013	2014	% a/a	2013	2014
Argentina	102	47	-54	1	2
Australia	200	187	-6	11	12
Brasil	144	135	-6	5	5
Canadá	206	177	-14	13	11
Chile	153	150	-2	8	6
China	148	152	2	6	7
Congo, RD	148	158	6	7	9
Indonesia	105	-10	-110	3	1
México	104	80	-23	2	3
Perú	110	131	19	4	4
Rusia	174	155	-11	10	8
Estados Unidos	172	168	-3	9	10
Zambia	202	211	5	12	13

Fuente: Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), 2015.

^a Corresponde al Costo C1- Costo operacional, que incluye: Costo mina + costo planta + gastos generales + gastos venta, incluyendo a cargos de tratamiento y refinación más costos de transporte y comercialización.

Chile mantuvo una posición intermedia en el año 2014, con cerca de 150 cUSD/lb, encontrándose en el sexto lugar en el ranking de costos realizado en el estudio.

Los precios de los metales influyen directa o indirectamente en las recompensas financieras de la recuperación. Éstos están relacionados con el tipo de recuperación, primaria y/o reciclada de un metal, con la abundancia relativa de los diversos elementos en los minerales primarios y con la demanda de una mayor sostenibilidad y otros servicios prestados por el metal (UNEP, 2013).

Los metales que se encuentran en los RAEE pueden ser reciclados y reinsertados nuevamente en la oferta minera, por lo cual recuperarlos puede reducir en cierta medida la explotación minera de materiales. Sin embargo,

los materiales valiosos se pierden con facilidad debido a la imperfección de los procesos de separación y tratamiento. El bajo desarrollo tecnológico también tiene un efecto negativo sobre la eficacia de los procesos de separación y disponibilidad de materiales a nuevos ciclos productivos. Estas soluciones deben ir acompañadas de un diseño optimizado de los AEE que permita el desarmado y la reutilización de los componentes y la recuperación de los materiales valiosos y preciosos. Por lo tanto, uno de los elementos principales para garantizar el acceso futuro a metales clave es facilitar la eficacia en la cadena de reciclaje (UNU-IAS, 2015).

En el cuadro 26 se presenta el potencial económico de la producción minera mundial en comparación con la demanda de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE); además, se estima el valor de los metales que se utilizan en los AEE, en comparación al precio de los metales por kg producido. Asimismo, en el cuadro 27 se presenta la estimación del valor potencial de algunos materiales que pueden ser recuperados de los residuos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Cuadro 26
Relación producción minera, demanda y aplicación de metales en aparatos eléctricos y electrónicos^a

Metales AEE	Producción Minera mundial (t/a)	Demanda AEE (t/a)	Demanda AEE/producción minera (porcentaje)	Precio del metal (USD/kg)	Valor del uso del metal en AEE (mil millones USD)
Plata (Ag)	22 200	7 554	34	649	4,90
Oro (Au)	2 500	327	13	39 443	12,90
Paladio (Pd)	229	44	19	16 948	0,74
Platino (Pt)	188	7	4	51 811	0,37
Rutenio (Ru)	29	21	72	5 069	0,11
Cobre (Cu)	16 200 000	7 174 000	44	8	54,08
Estaño (Sn)	261 000	129 708	50	20	2,65
Antimonio (Sb)	135 000	67 500	50	9	0,61
Cobalto (Co)	88 000	16 470	19	45	0,75
Bismuto (Bi)	7 600	1216	16	20	0,02
Selenio	2 260	185	8	82	0,02
Indio (In)	574	717	125 ^a	566	0,41

Fuente: UNEP, 2013.

^a Los valores superiores al 100% se deben al reciclaje.

Cuadro 27
Valor potencial de las materias primas de los RAEE en 2016

Material	Kilotoneladas (kt)	Millones de USD
Fe	16 283	3 231
Cu	2 164	8 592
Al	2 472	3 234
Ah	1,6	797
Au	0,5	16 996
Pd	0,2	3 039
Plásticos	12 230	13 570

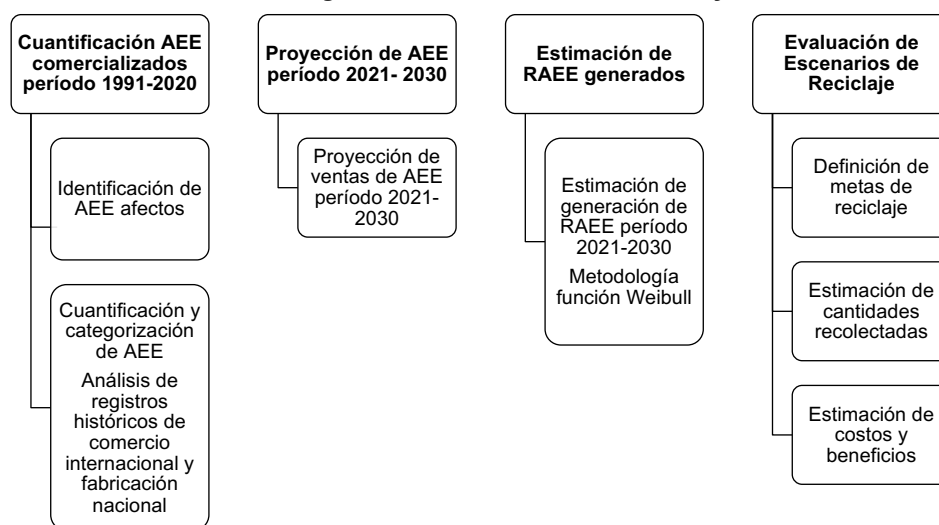
Fuente: Baldé C. P. et al., 2017.

C. Análisis de escenarios para países Andinos

1. Metodología

La evaluación de escenarios de reciclaje para los países Andinos elegidos se realizó según se indica en el diagrama 9.

Diagrama 9
Metodología evaluación de escenarios de reciclaje



Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, la evaluación de los escenarios se basó en la construcción de una línea base correspondiente a la estimación de los AEE consumidos y RAEE generados en el período 1991-2030 en Chile, Perú y Colombia. A partir de las cantidades de RAEE proyectados y de la definición de metas de recolección, se construyeron los escenarios de reciclaje para cada país, con la evaluación económica correspondiente. A continuación se detalla cada etapa:

a) Cuantificación de AEE comercializados

La cuantificación de RAEE en cada país requiere necesariamente la identificación de los artefactos afectos a una ley de reciclaje. En este sentido, existe amplia bibliografía respecto de los artefactos considerados como Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE). Dos de estos estudios corresponden a “*E-Waste statistics: Guidelines on classification, reporting and indicators*” (UNU, 2015) y “*E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition*” (UNU, 2018), los cuales presentan un listado de AEE clasificados de acuerdo a categorías conocidas como UNU-KEYs²². La clasificación propuesta por UNU (United Nations University) busca simplificar los cálculos estadísticos mediante la agrupación de los AEE de acuerdo a criterios de pesos promedio comparables, composiciones de materiales y características de vida útil.

Las categorías UNU-KEYs utilizadas en el presente estudio permiten identificar los AEE de acuerdo a códigos arancelarios, lo cual resulta indispensable al momento de analizar estadísticas de comercio internacional, sobre todo cuando se trata de países principalmente importadores.

Para efectos de este estudio, la comercialización anual de los AEE está dada por las importaciones, exportaciones y la fabricación nacional. De esta manera, para cada categoría, la cantidad de AEE comercializados en los mercados nacionales se estima a partir de la siguiente relación:

$$N_N(t) = N_{NP}(t) + N_{Imp}(t) - N_{Ex}(t)$$

Donde:

$N_N(t)$: Ventas nacionales de AEE de cierta categoría en el año t [ton]

²² Para mayor detalle véase UNU, 2015 y UNU, 2018.

$N_{NP}(t)$: Producción nacional de AEE de cierta categoría en el año t , la cual corresponde a los AEE que son fabricados en dicho país [ton]

$N_{Imp}(t)$: Importaciones de AEE de cierta categoría en el año t , correspondiente a importaciones de productos que serán comercializados en el país [ton]

$N_{Ex}(t)$: Exportaciones de AEE de cierta categoría en el año t [ton]

Como supuesto relevante, este método asume que los productos importados y fabricados son puestos en el mercado y son comercializados el mismo año.

Los datos de comercio exterior (importaciones y exportaciones) para el periodo 1991-2019 fueron obtenidos de la *United Nations Commodity Trade Statistics Database*, conocida frecuentemente como UN Comtrade²³. Esta base proporciona valores monetarios de exportaciones e importaciones, así como también información sobre cantidades (unidades) y peso (kg) detallados por producto y país. UN Comtrade estandariza la información de pesos y cantidades, lo que permite contar con información comparable a nivel global²⁴. Adicionalmente se consideraron datos de los servicios de aduanas de cada país para el año 2020. Para el desarrollo de este estudio se ha utilizado la información de UN Comtrade y de los servicios de aduanas.

En el caso de la producción nacional, se contó con información de estudios anteriores para el caso de Chile. Estos datos son presentados en el documento "Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para el producto prioritario "Aparatos Eléctricos y Electrónicos" contenido en la Ley 20.920" (E2BIZ, 2019), fueron utilizados directamente para el presente estudio. En el caso de Perú y Colombia no fue posible contar con esta información y se requirió estimar la cantidad de refrigeradores y lavadoras fabricados en base a las importaciones de compresores e información de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT) y de la UN Comtrade para Perú y Colombia, entre otros supuestos.

b) Proyección de AEE comercializados

La proyección de ventas de AEE para el período 2021-2030 se realiza utilizando el Método de Suavizamiento Exponencial con Tendencia, el cual a partir de datos históricos del mercado local para los años 1991-2020, estima las ventas aproximadas futuras. Dado que no se cuenta con estadísticas de ventas del mercado interno, los datos de comercio exterior y producción entregan la mejor aproximación en base a la información disponible.

Las ecuaciones en las que se sustenta el modelo de proyección son las siguientes:

$$A_t = \alpha * D_t + (1 - \alpha) * (A_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta * (A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}$$

$$F_{t+k} = A_t + k * T_t$$

Donde:

A_t : Consumo "medio" estimado para el período t [ton].

D_t : Demanda observada en el período t (nivel de ventas en t) [ton]

T_t : Tendencia del período t [ton]. Las tendencias capturan los cambios de pesos y de vida útil históricos de cada categoría.

F_{t+k} : Pronóstico para el período $t+k$ [ton]

²³ Para más información, véase: <https://comtrade.un.org/data/>.

²⁴ A la fecha de cierre de este informe los últimos datos disponibles en la plataforma corresponden al año 2019.

α : Valor entre [0,1]. Si se cree en la demanda del último período, el valor es cercano a 1, mientras que, si se cree más en la historia, el valor es cercano a 0

β : Valor entre [0,1]. Si se cree en la tendencia del último período el valor es cercano a 1, mientras que, si se cree más en la tendencia histórica, el valor es cercano a 0

Para el presente estudio no se dispone de información respecto de valores α y β utilizados en estudios similares, motivo por el cual estos parámetros fueron calculados de manera tal que se minimicen los errores de estimación. En particular, se estiman todos los parámetros de manera que la proyección que arroje el método sea lo más cercana posible a las cantidades realmente demandadas en el período en estudio²⁵.

La incertidumbre respecto al efecto de la pandemia en el futuro ha obligado a realizar ciertos ajustes sobre los modelos de proyección. Particularmente para el año 2021 se ha hecho un ajuste sobre los resultados del Método de Suavizamiento Exponencial con Tendencia. Dado que el modelo por sí solo no contempla restricciones de crecimiento se han restringido los consumos estimados para el año 2021, estableciendo un porcentaje máximo de crecimiento definido por el crecimiento esperado del PIB en cada país para dicho año.

c) Estimación de RAEE generados

El Método Oferta de Mercado (o de ventas) es comúnmente utilizado para estimar cuándo un producto, que se vende en un año dado, termina su vida útil, lo que significa que está listo para, alternativamente, ser recolectado por una organización de procesamiento de productos electrónicos usados para su reutilización, reciclaje de materiales, valorización energética o enviado a disposición final. Este es el método seleccionado para el presente estudio y que más se utiliza en la experiencia internacional por organismos internacionales, incluyendo la *Environmental Protection Agency* (EPA) de los Estados Unidos y la Unión Europea (UE).

Los residuos se estiman a partir de datos de ventas de equipos y vida útil promedio. Esta metodología asume dos supuestos críticos: 1) los equipos se transforman en residuos al final de su vida útil y 2) suele considerarse que la vida útil de los artefactos es constante.

Las ecuaciones que determinan la cantidad de residuos para el Método Oferta de Mercado se presentan a continuación:

$$RAEE_{n,t} = N_N(t - l_{s_n})$$

$$N_N(t) = N_{NP}(t) + N_{Im}(t) + N_{Ex}(t)$$

Donde:

$RAEE_{n,t}$: Cantidad de residuos generados del artefacto n el año t [kg/año]

$N_N(t)$: Ventas nacionales de AEE de cierta categoría el año t

l_{s_n} : Esperanza de vida promedio del aparato n [años]

$N_{NP}(t)$: Producción nacional de AEE de cierta categoría el año t

$N_{Im}(t)$: Importaciones de AEE de cierta categoría el año t

$N_{Ex}(t)$: Exportaciones de AEE de cierta categoría el año t

Con el objetivo de reflejar de mejor manera la salida de artefactos no se suelen emplear valores determinísticos de la vida útil, sino que distribuciones que se ajustan a datos empíricos. La teoría

²⁵ Para determinar los valores de los parámetros se considera lo planteado por (Ravinder, 2013).

estadística revela que la distribución de Weibull se puede utilizar para modelar una gran cantidad de variables aleatorias positivas asociadas a la falla de los productos y, en particular, de los AEE. La principal ventaja de la distribución de Weibull es su capacidad de estimar pronósticos de falla con una precisión razonable con pocos datos (Abernethy, 2004).

En el caso de los AEE considerados por las UNU KEYs, se cuenta con valores de forma (β) y escala (η) de la función de Weibull proporcionados en el documento *E-waste statistics* (UNU, 2018).

En la práctica, el perfil de vida útil permite estimar porcentajes (frecuencias) de falla para distintas edades de los AEE. A partir de UNU (2018) se detalla la tasa de falla para cada una de las 54 categorías UNU KEYs, para un período de 40 años. Puede ocurrir que existan aparatos que presentan posibilidad de falla mayor a 40 años. A partir de estas tasas de falla se calcula el total de residuos que se genera cada año.

Para cada una de las 54 categorías UNU-KEYs se estima la cantidad de residuos anuales a partir de las toneladas de AEE que ingresaron en los años anteriores, usando la siguiente ecuación:

$$RAEE_T = \sum_{t=1991}^{t=T} AEE_t * Tasa Falla_{(T-t)}$$

Donde:

$RAEE_T$: RAEE (en toneladas) generado en el año T, con $T \in [2021, 2030]$.

AEE_t : Cantidad de AEE (en toneladas) puesto en el mercado en el año t

$Tasa Falla_{(T-t)}$: Tasa de falla de cierto AEE en el año T-t de funcionamiento, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Tasa Falla_{(T-t)} = \frac{\beta}{\eta^\beta} (T - t)^{\beta-1} e^{-\left[\frac{T-t}{\eta}\right]^\beta}$$

Donde β es el parámetro de forma y η el parámetro de escala.

d) Evaluación de escenarios

i) Supuestos de tasas de penetración del reciclaje

Como se presentó en el diagrama 9, una vez cuantificada la proyección de RAEE se procede a evaluar posibles escenarios de recolección y reciclaje de RAEE en los países. Para esto es necesario definir metas de recolección.

Para el presente estudio se ha optado por definir metas sobre los RAEE generados, las cuales son diferenciadas para las distintas categorías. Si bien las metas son aplicadas sobre los RAEE, los cálculos permiten determinar la meta equivalente que debiese ser aplicada sobre los AEE anualmente. Esta opción permite asegurar que las tasas de recolección elegidas sean posibles de alcanzar y que los RAEE de cada categoría efectivamente existan.

Para la elaboración de escenarios se establecieron tasas de recolección de RAEE tomando en consideración los actuales niveles de recolección de cada país y las cantidades máximas posibles de recolectar según la experiencia internacional.

Para cada país se crearon tres escenarios con distintas exigencias de metas. El Escenario 1 corresponde al escenario más conservador; el Escenario 2 corresponde a un escenario intermedio; y el Escenario 3 corresponde a un escenario exigente. Las metas para el Escenario 1 corresponden a metas cercanas a los actuales niveles de recolección del país, mientras que el Escenario 3 corresponde al máximo posible de recolectar de acuerdo al estudio "Proyecto operativo para establecer un sistema de gestión de RAEE en Chile"

(Duque, 2019). A continuación se presentan las metas establecidas en el estudio de Duque (2019) y la aplicación de las mismas para el Escenario 3 al año 2030 en las categorías analizadas (cuadro 28).

Cuadro 28
Cantidad de RAEE máxima posible de recolectar en la práctica

Categoría	Cantidad máxima por recolectar (en porcentajes)	Categorías aplicadas
Aparatos de Intercambio de Calor	95%	Cat 1
Pantallas y Monitores	80%	Cat 2
Lámparas	75%	Cat 3
Grandes Aparatos	100%	Cat 4
Pequeños Aparatos	25%	Cat 5 y Cat 6 ^a

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Duque, 2019.

^a Se eligió una tasa del 25% para la categoría 6 "equipos de informática y telecomunicaciones pequeños" debido a que se asemeja a la categoría 5 "pequeños aparatos".

Para cada país y escenario se definieron las metas crecientes entre los años 2021 y 2030. Las metas presentadas corresponden a las aplicadas sobre los RAEE generados anualmente. A continuación, se muestran las tasas de recolección utilizadas por escenario en cortes de cinco años (cuadros 29, 30 y 31).

Cuadro 29
Tasa de recolección de RAEE en Chile, Escenarios 1,2 y 3

	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Cat 1	1,0%	20,5%	40,0%	5%	38%	70%	10%	53%	95%
Cat 2	1,0%	20,5%	40,0%	5%	33%	60%	10%	45%	80%
Cat 3	6,0%	23,0%	40,0%	10%	33%	55%	15%	45%	75%
Cat 4	10,0%	30,0%	50,0%	20%	50%	80%	25%	63%	100%
Cat 5	3,0%	6,5%	10,0%	5%	10%	15%	8%	17%	25%
Cat 6	1,0%	5,5%	10,0%	3%	9%	15%	5%	15%	25%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 30
Tasa de recolección de RAEE, Colombia, Escenarios 1,2 y 3

	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Cat 1	10,0%	25,0%	40,0%	20%	45%	70%	25%	60%	95%
Cat 2	1,0%	20,5%	40,0%	3%	32%	60%	5%	43%	80%
Cat 3	5,0%	22,5%	40,0%	10%	33%	55%	15%	45%	75%
Cat 4	1,0%	25,5%	50,0%	3%	42%	80%	5%	53%	100%
Cat 5	2,0%	6,0%	10,0%	5%	10%	15%	8%	17%	25%
Cat 6	1,0%	5,5%	10,0%	3%	9%	15%	5%	15%	25%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 31
Tasa de recolección de RAEE, Perú, Escenario 1, 2 y 3

	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Cat 1	1,0%	20,5%	40,0%	5%	38%	70%	10%	53%	95%
Cat 2	1,0%	20,5%	40,0%	5%	33%	60%	10%	45%	80%
Cat 3	6,0%	23,0%	40,0%	10%	33%	55%	15%	45%	75%
Cat 4	10,0%	30,0%	50,0%	20%	50%	80%	25%	63%	100%
Cat 5	3,0%	6,5%	10,0%	5%	10%	15%	8%	17%	25%
Cat 6	1,0%	5,5%	10,0%	3%	9%	15%	5%	15%	25%

Fuente: Elaboración propia.

Puesto que las metas presentadas son específicas para las categorías de interés, resulta difícil establecer comparaciones con países a menos que éstos explícitamente indiquen sus tasas de recolección para cada categoría. No obstante, es posible encontrar algunos referentes que permiten establecer comparaciones entre los casos analizados y los casos reales. El cuadro 32 presenta algunas tasas aplicadas en la Unión Europea, Japón y Colombia.

Cuadro 32
Metas de recolección aplicadas en la UE, Japón y Colombia

Categoría	Meta Directiva WEEE a partir de 15 de agosto de 2018	Japón	Colombia
Aparatos de intercambio de temperatura	80%	80%: Aires Acondicionados 70%: Refrigeradores y congeladores	S/I
Monitores, pantallas y aparatos con pantallas de superficie superior a 100 cm ²	70%	55%: Televisores CRT 74%: Televisores LCD y plasmas	S/I
Lámparas	80%	S/I	5% de aumento hasta lograr 50%
Grandes aparatos	80%	82%: Lavadoras y secadoras	S/I
Pequeños aparatos	55%	S/I	S/I
Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños	55%	S/I	5% de aumento hasta lograr 50%

Fuente: Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, 2012; *Environmental Affairs and Recycling Office*, 2018; MAVDT, 2010c y 2010d.

La combinación de las metas seleccionadas aplicadas sobre los RAEE de cada categoría en cada país permitirá establecer la meta global de recolección para cada caso.

ii) **Estimación de costos y beneficios**

A partir de las estimaciones de las cantidades de RAEE recolectadas, se calculan los costos y beneficios asociados a dicha recolección y tratamiento. En el caso de los costos, se utilizan los valores presentados en el cuadro 23. En el caso de los beneficios se utilizan los precios de comercialización de los distintos componentes del cuadro 22. A partir de dichos valores se estiman los costos totales para el período 2021-2030. Para el cálculo del Valor Presente Neto (VAN por sus siglas en inglés) se utiliza una tasa de descuento social del 6%.

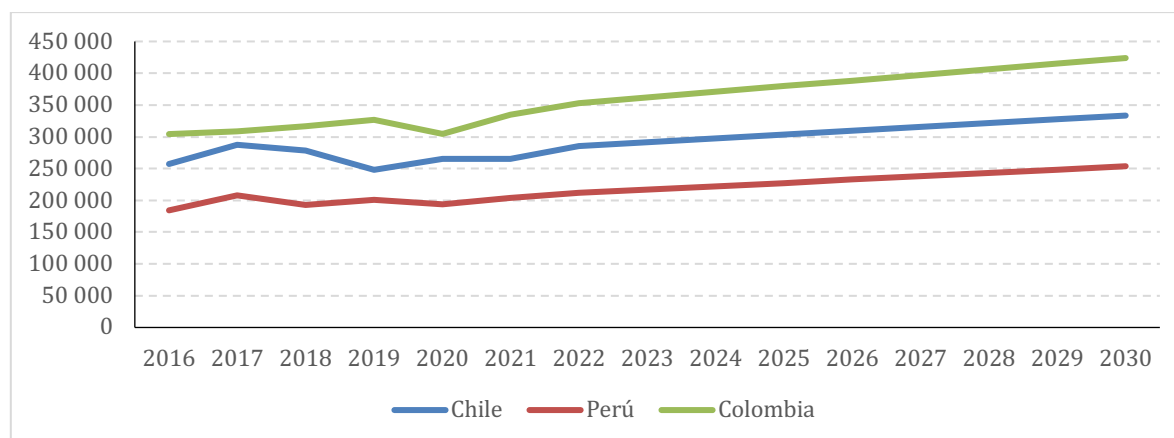
2. **Resultados de Evaluación de Escenarios**

a) **Proyección de AEE consumidos y RAEE generados**

El análisis de escenarios, de acuerdo con la metodología descrita, toma como primer actividad la proyección del consumo de AEE hasta el año 2030 (toneladas anuales). Los resultados obtenidos para cada país se presentan en los gráficos 6 y 7, donde se aprecia que Colombia presenta el mayor consumo de AEE para el período 2016-2030, seguido de Chile y Perú. A su vez, para el período 2020-2030, Colombia presentaría la mayor tasa de crecimiento (3,4% anual). Perú mostraría una tasa de crecimiento anual de 2,8% y Chile una tasa del 2,3%. En términos de consumo per cápita, el orden de crecimiento se mantiene: Colombia con una tasa de 2,4%, Perú una tasa de 1,8% y Chile una tasa de 1,4%²⁶.

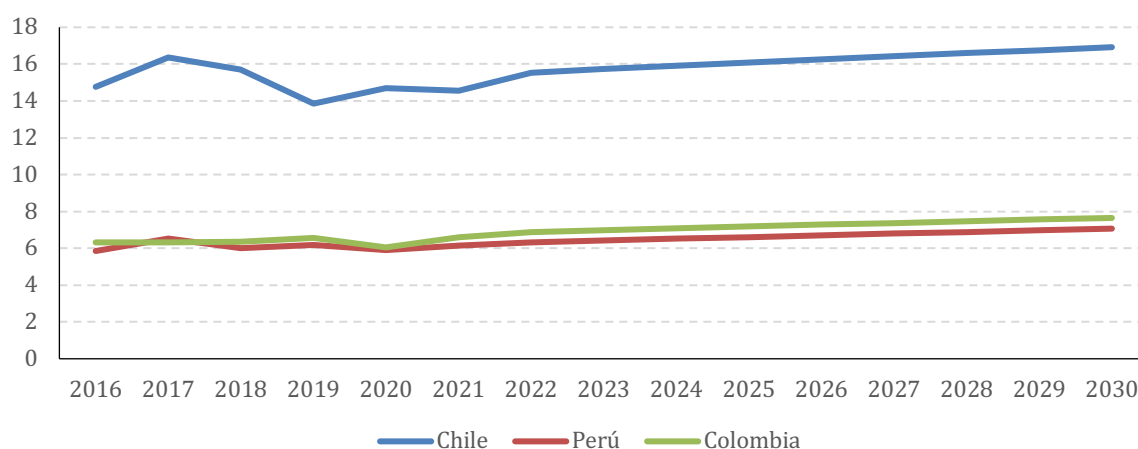
²⁶ Se debe tener en consideración que en el caso de Perú y Colombia solo fue posible incorporar datos de producción estimativos, los cuales se obtuvieron a partir de datos de importaciones de compresores en el caso de refrigeradores para ambos países y de una relación entre la producción de lavadoras y refrigeradores para el caso de Colombia.

Gráfico 6
Consumo de AEE período 2016-2030 en Chile, Perú y Colombia
(En toneladas)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de UN Comtrade, 2021, información de servicios de aduana nacionales y producción nacional estimada.

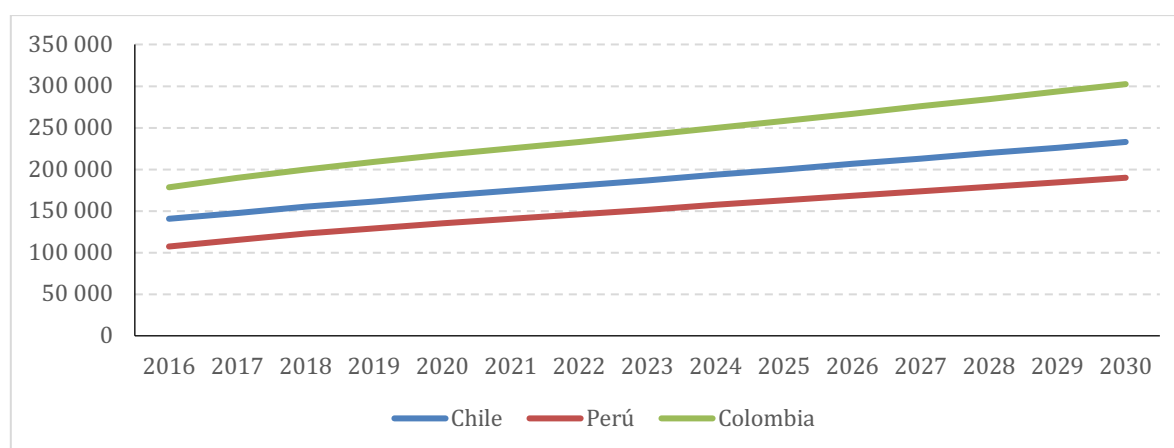
Gráfico 7
Consumo per cápita de AEE, período 2016-2030 en Chile, Perú y Colombia
(En kilogramos por habitante)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de UN Comtrade, 2021; información de servicios de aduana nacionales; producción nacional; INE, 2017; INEI, 2017 y Banco Mundial, 2019.

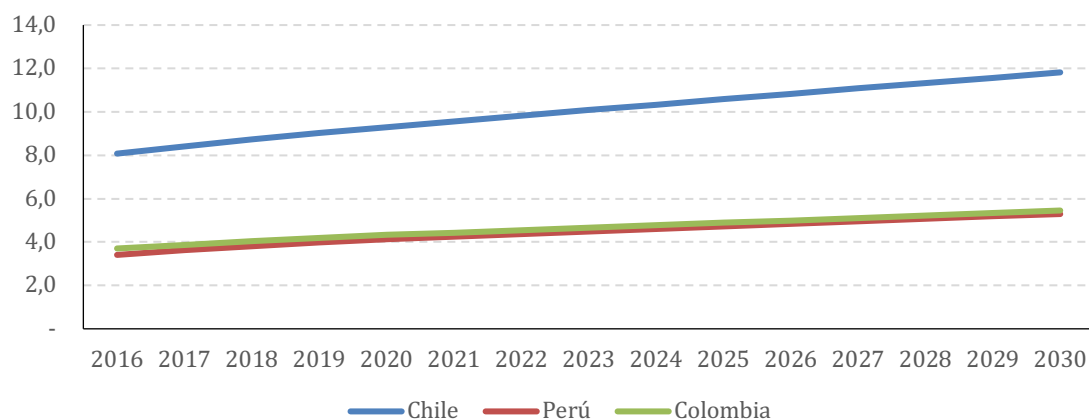
A partir de las cantidades de AEE históricamente puestas en el mercado y de sus proyecciones se estima la generación de RAEE para cada país. Los valores obtenidos se presentan en los gráficos 8 y 9.

Gráfico 8
Generación de RAEE período 2016-2030, Chile, Perú y Colombia
(En toneladas)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de UN Comtrade, 2021; información de servicios de aduana nacionales y producción nacional.

Gráfico 9
Generación de RAEE per cápita, período 2016-2030, Chile, Perú y Colombia
(En kilogramos por habitante)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de UN Comtrade, 2021; información de servicios de aduana nacionales; producción nacional; INE, 2017; INEI, 2017 y Banco Mundial, 2019.

De las proyecciones se desprende que, para 2020, Chile presenta la mayor tasa de generación de RAEE per cápita (9,3 kg/hab). Mientras que Colombia y Perú poseen tasas de generación RAEE de 4,3 kg/hab y 4,1 kg/hab. Las tasas de crecimiento anuales obtenidas para el período 2020-2030 se muestran en el cuadro 33.

Cuadro 33
Tasas de crecimiento anuales de generación de RAEE: 2020-2030

País	RAEE [ton]	RAEE/hab
Chile	3,3%	2,4%
Perú	3,5%	2,5%
Colombia	3,3%	2,5%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de UN Comtrade, 2021; información de servicios de aduana nacionales; producción nacional; INE, 2017; INEI, 2017 y Banco Mundial, 2019.

Al comparar los resultados obtenidos con otros estudios internacionales, particularmente con el informe *Global E-waste Monitor 2020* (Forti et al, 2020), es posible observar que los valores estimados en el presente estudio se encuentran ligeramente por debajo de los indicadores internacionales.

Tras la estimación, se vinculan los RAEE generados con las cantidades de recolección del mercado formal actuales para cada país²⁷. En Chile se consideraron las tasas de recolección declaradas por los principales gestores de RAEE, presentadas en el estudio de E2BIZ, (2019) (cuadro 34). En Colombia, se consideraron las cantidades reportadas en las plataformas de Red Verde, EcoCómputo y Lúmina (cuadro 35). En el caso de Perú no se pudo acceder a información desglosada de la recolección de RAEE, obteniéndose sólo un valor total de recolección de RAEE para el 2018, estimado por RLGA (cuadro 36)²⁸.

De acuerdo a lo anterior, Perú presenta una tasa levemente superior de recolección de RAEE, de un 4,1% en el año 2018. Mientras que, Colombia y Chile presentaron tasas de recolección del 3,5% y 3,8% para los años 2018 y 2017, respectivamente.

Cuadro 34
Tasa de recolección de RAEE – Chile 2017

Categoría	AEE puesto en el mercado (en toneladas)	RAEE generados (en toneladas)	RAEE recolectados (en toneladas)	RAEE recolectados/AEE puesto en el mercado	RAEE recolectados/RAEE generados
Cat 1	79 297	27 771	322	0,4%	1,2%
Cat 2	22 257	22 604	119	0,5%	0,5%
Cat 3	2 910	2 376	222	7,6%	9,4%
Cat 4	92 966	21 689	3 229	3,5%	14,9%
Cat 5	74 260	56 837	1 618	2,2%	2,8%
Cat 6	17 568	16 239	167	0,9%	1,0%
Total	289 257	147 516	5 677	2,0%	3,8%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de cálculos propios y E2BIZ, 2019.

Cuadro 35
Tasa de recolección de RAEE – Colombia 2018

Categoría	AEE puesto en el mercado (en toneladas)	RAEE generados (en toneladas)	RAEE recolectados (en toneladas)	RAEE recolectados/AEE puesto en el mercado	RAEE recolectados/RAEE generados
Cat 1	82 840	31 761	3 111	3,8%	9,8%
Cat 2	31 738	33 816	309	1,0%	0,9%
Cat 3	1 433	3 452	769	53,7%	22,3%
Cat 4	67 159	32 532	388	0,6%	1,2%
Cat 5	98 002	65 736	2 352	2,4%	3,6%
Cat 6	35 007	32 607	119	0,3%	0,4%
Total	316 178	199 903	7 048	2,2%	3,5%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de cálculos propios; RedVerde (2019d); EcoCómputo (2019c) y Lúmina (s.f.).

²⁷ Es importante tener en cuenta que en todos los países existe un mercado informal de reciclaje de RAEE. La cuantificación de este mercado no ha sido posible debido a la falta de bibliografía y, por lo tanto, estas cantidades no se consideran dentro del análisis del presente estudio.

²⁸ Presentación realizada por RLGA en Webinar RAEE StEP GIZ – “Gestión de RAEE en América Latina: Desafíos y buenas prácticas”.

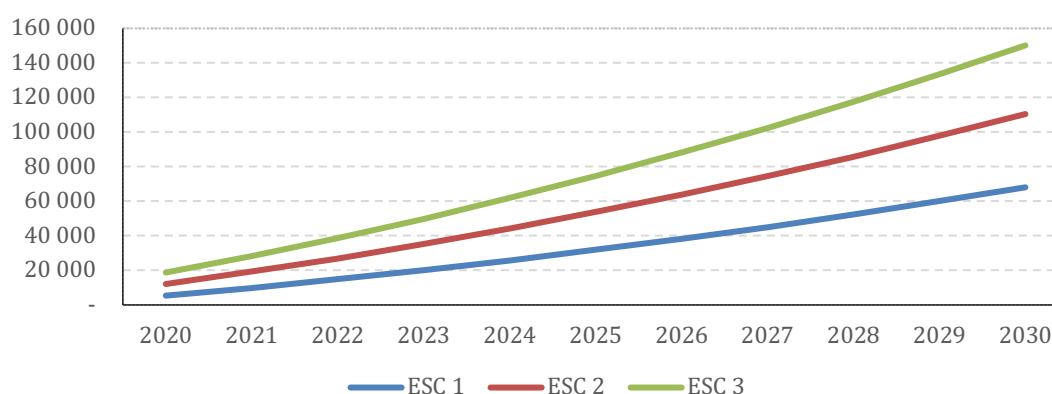
Cuadro 36
Tasa de recolección de RAEE – Perú 2018

Categoría	AEE puesto en el mercado (en toneladas)	RAEE generados (en toneladas)	RAEE recolectados (en toneladas)	RAEE recolectados/ AEE puesto en el mercado	RAEE recolectados/ RAEE generados
Cat 1	46 023	17 745	S/I	S/I	S/I
Cat 2	25 357	23 246	S/I	S/I	S/I
Cat 3	2 343	3 612	S/I	S/I	S/I
Cat 4	26 730	13 747	S/I	S/I	S/I
Cat 5	72 025	46 605	S/I	S/I	S/I
Cat 6	20 580	17 510	S/I	S/I	S/I
Total	193 059	122 465	5 000	2,6%	4,1%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de cálculos propios y RLGA.

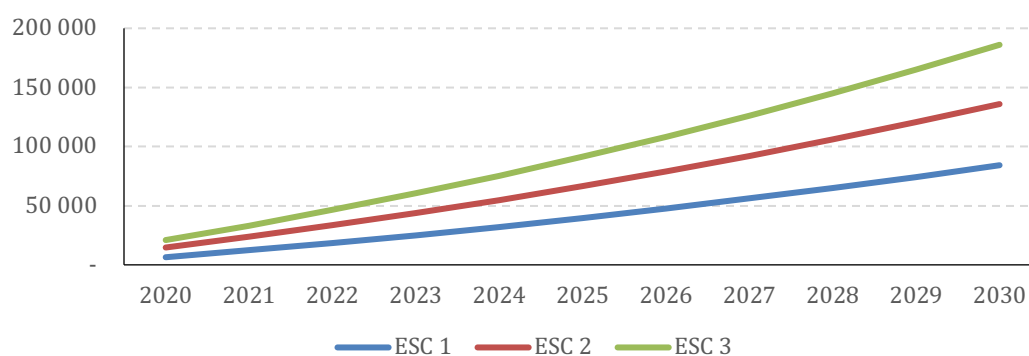
Tomando en consideración los niveles de generación de RAEE proyectados y las metas elegidas en sub-secciones previas, se calcula la cantidad de RAEE recolectados por país y escenario. Los resultados obtenidos se presentan en los gráficos a continuación.

Gráfico 10
RAEE recolectados según escenarios en Chile
(En toneladas)



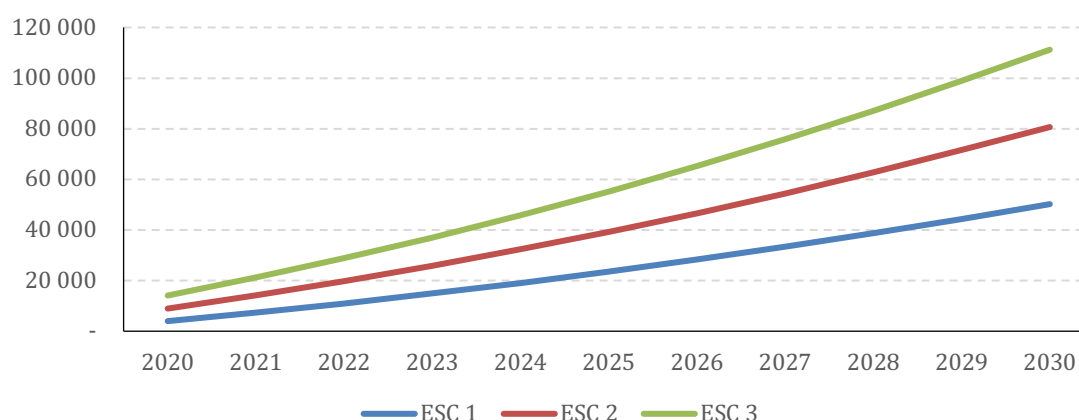
Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados, período 1991-2020.

Gráfico 11
RAEE recolectados según escenarios en Colombia
(En toneladas)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados, período 1991-2020.

Gráfico 12
RAEE recolectados según escenarios en Perú
 (En toneladas)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados, período 1991-2020.

Como se observa, al año 2030 la aplicación de una misma meta de recolección en el escenario 3 lleva a resultados distintos dependiendo de cada país. De acuerdo a lo obtenido, la mayor recolección al año 2030 se dará en Colombia, luego en Chile y finalmente en Perú. En términos globales, si se consideran los RAEE recolectados y los RAEE anualmente generados se tienen las siguientes tasas de recolección para los países (cuadro 37).

Tomando en consideración las tasas de reciclaje de RAEE presentados en el *Global E-waste Monitor 2020* (UNU, 2020), el Escenario 1, evaluado con tasas cercanas al 30%, correspondería a lo que al año 2017 recolectaron Grecia (30,9%) y España (32,3%). En el caso del Escenario 2, las tasas obtenidas se asemejan a los resultados de Eslovaquia (42,9%), Países Bajos (44,5%) y Letonia (46,5%). Por último, los resultados del Escenario 3 se asemejarían a lo que al año 2017 recolectaron Finlandia (59,1%), Suiza (61,2%) y Bulgaria (66,5%)²⁹.

Cuadro 37
Tasas de recolección global según escenario y país^a
 (En porcentajes)

		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Colombia	ESC 1	3,0	5,4	7,9	10,4	12,9	15,4	17,8	20,3	22,8	25,3	27,9
	ESC 2	6,7	10,5	14,3	18,1	21,9	25,7	29,5	33,4	37,2	41,1	45,0
	ESC 3	9,6	14,7	19,9	25,0	30,2	35,4	40,6	45,8	51,0	56,3	61,5
Perú	ESC 1	3,0	5,2	7,5	9,8	12,2	14,5	16,9	19,2	21,6	24,0	26,4
	ESC 2	6,6	10,1	13,5	17,0	20,6	24,1	27,7	31,4	35,0	38,7	42,5
	ESC 3	10,4	15,1	19,7	24,4	29,2	34,0	38,8	43,7	48,6	53,6	58,6
Chile	ESC 1	3,2	5,7	8,2	10,8	13,3	15,9	18,5	21,2	23,8	26,5	29,2
	ESC 2	7,2	11,0	14,9	18,9	22,8	26,9	30,9	35,0	39,1	43,3	47,4
	ESC 3	11,2	16,3	21,5	26,7	32,0	37,3	42,7	48,1	53,6	59,0	64,5

Fuente: Elaboración propia.

^a Tasas referidas a recolección/tratamiento en relación con la cantidad de RAEE generado anualmente.

²⁹ Las tasas de recolección presentadas para los países fueron obtenidas a partir de los datos de recolección y generación de RAEE para el año 2017.

b) Costos Asociados

A partir de los costos de tratamiento presentados previamente, es posible estimar los costos de los escenarios evaluados en cada país. Debe considerarse que existen diferencias geográficas que pueden resultar ser relevantes en evaluaciones de este tipo, sobre todo cuando se consideran los costos de transporte para la etapa de recolección. En este sentido, la geografía de Chile, por ejemplo, puede resultar ser un factor importante dentro de la estimación de costos del país.

El cuadro 38 presenta los costos estimados asociados a la recolección y al tratamiento en cada escenario:

Cuadro 38
Costo neto según escenario y país
(En miles de dólares)

País	ESC	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Chile	ESC 1	512	1 975	3 551	5 239	7 030	8 917	10 894	12 958	15 101	17 320	19 610
	ESC 2	1 983	4 319	6 838	9 542	12 413	15 439	18 609	21 912	25 338	28 878	32 526
	ESC 3	3 753	6 826	10 132	13 678	17 438	21 398	25 543	29 858	34 329	38 946	43 699
Colombia	ESC 1	2 177	3 864	5 644	7 532	9 545	11 705	14 032	16 540	19 244	22 149	25 261
	ESC 2	4 560	7 234	10 075	13 100	16 333	19 807	23 547	27 576	31 909	36 556	41 522
	ESC 3	5 984	9 540	13 327	17 372	21 706	26 373	31 407	36 836	42 681	48 953	55 657
Perú	ESC 1	425	1 544	2 735	4 003	5 349	6 778	8 294	9 900	11 597	13 385	15 262
	ESC 2	1 560	3 291	5 144	7 127	9 241	11 493	13 889	16 432	19 123	21 961	24 943
	ESC 3	2 944	5 200	7 616	10 202	12 960	15 899	19 027	22 348	25 862	29 567	33 460

Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados y costos de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

Hay que notar que esta metodología no identifica economías de escala, para lo que se requiere un análisis caso a caso, y el diseño de un sistema de gestión que incluya la ubicación estratégica de plantas considerando los puntos de mayor generación de RAEE.

Al desglosar los costos según las categorías evaluadas, se observa que en la Categoría 6 (Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños) los beneficios obtenidos resultan ser mayores que los costos asociados. Esto ocurre solamente en esta categoría y por lo tanto desde un punto de vista del sistema de gestión, la valorización de otro tipo de residuos requeriría de un financiamiento adicional. A continuación se presenta el costo neto del período 2020-2030 (cuadro 39); el valor presente de la valorización de los materiales mencionados se ilustra en el cuadro 40.

Cuadro 39
Costo neto según país y escenario, período 2020-2030^a
(En miles de dólares)

País	ESC	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Cat 6
Chile	ESC 1	39 383	21 561	1 360	3 366	370	-813
	ESC 2	72 188	34 596	1 944	5 611	570	-1 355
	ESC 3	101 202	48 275	2 708	7 014	940	-2 259
Colombia	ESC 1	52 474	32 075	1 716	3 450	414	-1 771
	ESC 2	94 416	49 552	2 536	5 625	695	-2 946
	ESC 3	125 919	66 999	3 535	7 125	1 146	-4 910
Perú	ESC 1	24 884	21 408	2 454	2 033	327	-983
	ESC 2	45 474	34 407	3 495	3 391	504	-1 634
	ESC 3	63 623	48 061	4 861	4 239	832	-2 723

Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados y costos de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

^aValor presente neto calculado con tasa de descuento del 6%.

Cuadro 40
Valor presente de costos de gestión de RAEE según país y escenario^a
(En miles de dólares)

País/Escenario	ESC 1	ESC 2	ESC 3
Chile	65 227	113 554	157 879
Colombia	88 358	149 877	199 813
Perú	50 123	85 639	118 893

Fuente: Elaboración propia sobre la base registros históricos de AEE comercializados y costos de UNU, CBS, BIO, REC, 2014, período 1991-2020.

^a Tasa de descuento empleada del 6%.

c) Composición de los RAEE

A partir del desglose presentado en el cuadro 21, al principio de este capítulo, es posible obtener un mayor detalle con respecto a la composición de los RAEE recolectados en cada escenario. El cuadro 41 presenta el total de materiales recolectados durante el período 2020-2030 para cada escenario.

Cuadro 41
Desglose de los componentes de RAEE recolectados según escenario y país para el período 2020-2030^a
(En toneladas)

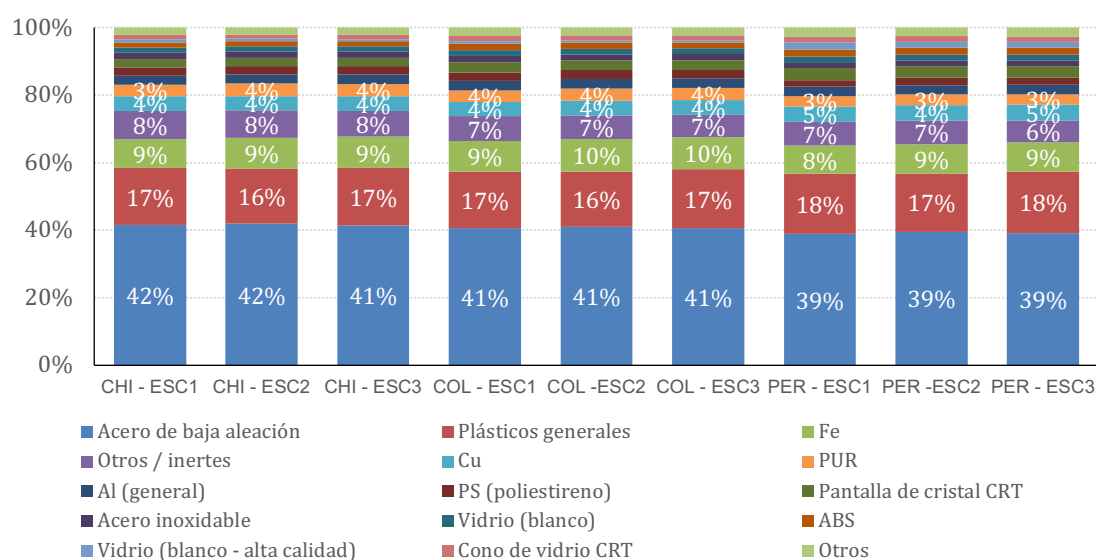
Material	País – Escenario								
	CHI ESC 1	CHI ESC 2	CHI ESC 3	COL ESC 1	COL ESC 2	COL ESC 3	PER ESC 1	PER ESC 2	PER ESC 3
Acero de baja aleación	154 481	261 376	357 639	187 335	315 202	430 765	107 157	179 987	250 299
Plásticos generales	62 262	101 609	146 342	76 727	126 447	182 607	48 843	79 003	116 053
Fe	32 347	57 028	80 787	42 183	73 678	100 787	22 694	39 527	56 214
Otros / inertes	30 938	51 263	65 190	33 511	54 594	70 158	19 415	32 133	41 129
Cu	15 983	26 037	37 861	19 549	32 274	46 751	12 688	20 460	30 233
PUR	12 606	22 835	31 725	16 215	28 970	38 702	8 011	14 478	20 084
Al (general)	9 943	16 756	23 394	12 679	21 192	29 087	7 659	12 704	17 892
PS (poliestireno)	8 664	15 737	21 928	11 210	20 076	26 854	5 515	9 992	13 899
Pantalla de cristal CRT	9 671	15 311	21 181	14 461	22 206	29 940	9 572	15 175	21 012
Acero inoxidable	6 699	11 463	16 006	8 072	13 845	19 110	4 582	7 771	11 009
Vidrio (blanco)	5 965	9 726	13 275	8 305	13 150	17 585	5 212	8 435	11 569
ABS	5 804	9 188	12 710	8 678	13 325	17 967	5 744	9 106	12 609
Vidrio (blanco - alta calidad)	3 042	4 318	5 993	3 847	5 612	7 793	5 561	7 871	10 908
Cono de vidrio CRT	4 790	7 583	10 490	7 162	10 998	14 828	4 740	7 515	10 406
Otros	8 332	13 586	19 402	11 209	18 139	25 377	7 446	11 952	17 123
Total general	371 528	623 816	863 923	461 143	769 708	1 058 311	274 839	456 109	640 439

Fuente: Elaboración Propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados y costos de UNU, CBS;BIO;REC, 2014, período 1991-2020.

^a Representa la sumatoria de toneladas recolectadas en el período 2020-2030.

Como se observa en el cuadro 41 y en el gráfico 13, los principales materiales presentes en los RAEE son acero de baja aleación, plásticos, hierro y materiales inertes, los que representan en conjunto más del 70% del total recolectado para el período 2020-2030. Cabe destacar que, tal como se expuso anteriormente, estos materiales son los que presentan las mayores tasas de recuperación (entre un 60% y 100%).

Gráfico 13
Distribución porcentual de materiales según escenario y país^a
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados y costos de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

Los beneficios económicos, entendidos como la valorización o venta de materiales, de los escenarios evaluados se presentan en el cuadro 42.

Cuadro 42
Valorización de RAEE recolectados según escenario y país para el período 2020-2030
(En miles de dólares)

Material	País - Escenario								
	CHI ESC 1	CHI ESC 2	CHI ESC 3	COL ESC 1	COL ESC 2	COL ESC 3	PER ESC 1	PER ESC 2	PER ESC 3
Acronitrilo Butadieno Estireno (ABS)	4 896	7 751	10 722	7 321	11 241	15 157	4 845	7 682	10 637
Acero de baja aleación	45 726	77 367	105 861	55 451	93 300	127 506	31 719	53 276	74 089
Acero inoxidable	5 647	9 663	13 493	6 805	11 671	16 109	3 863	6 551	9 281
Ag	871	1 393	2 056	1 492	2 349	3 481	924	1 480	2 203
Al (general)	12 549	21 146	29 523	16 001	26 744	36 708	9 666	16 032	22 580
Au	9 547	15 293	22 737	16 617	26 241	39 253	10 213	16 380	24 586
Cr	9	15	21	15	24	34	10	15	22
Cu	70 484	114 821	166 968	86 213	142 329	206 174	55 954	90 227	133 330
Fe	7 537	13 287	18 823	9 829	17 167	23 483	5 288	9 210	13 098
PE (HD)	281	444	615	420	645	869	278	440	610
PS (poliestireno)	4 185	7 601	10 591	5 415	9 697	12 971	2 664	4 826	6 713
Vidrio (blanco - alta calidad)	107	152	211	135	197	274	195	277	383
Vidrio (blanco - baja calidad)	9	13	18	12	17	24	17	24	33
Vidrio (blanco)	210	342	467	292	462	618	183	296	407
Zn	128	204	292	182	288	412	118	188	272
Total general	162 186	269 494	382 399	206 197	342 373	483 073	125 936	206 905	298 243

Fuente: Elaboración propia sobre la base de precios de reventa de materiales y cantidades estimadas de residuos recolectados.

d) Empleo directo e indirecto

La complejidad de los desechos y materiales de los RAEE hace que el desmantelamiento y la clasificación manual sean actividades importantes dentro de la cadena de flujo de materiales. Si se controla bien con garantías adecuadas de salud y seguridad, esto tiene un gran potencial para la

creación de empleos. Un informe reciente concluyó que el reciclaje crea más empleos con niveles de ingresos más altos que el de los vertederos o la incineración de desechos (UNEP, 2013).

Este tipo de empleo podría hacer más eficientes los procesos, ayudando a reducir el consumo de energía, materias primas y agua, si se aplicaran estrategias adecuadas.

En la gestión de residuos existen diversas actividades que generan empleos directos e indirectos, tales como la recolección, transporte, almacenamiento, pretratamiento, tratamiento, medición y control, entre otros. De estas actividades derivan los siguientes puestos de trabajo (Ministerio para la Transición Ecológica y Fundación Biodiversidad, s.f.).

Cuadro 43
Empleos derivados de principales actividades en la gestión de RAEE

Actividad	Empleo
Recolección	Peón de recogida de residuos urbanos
	Conductor de recogida de residuos urbanos
	Encargado de recogida de residuos urbanos
	Responsable de recogida de residuos urbanos
	Director de departamento de recogida de residuos urbanos
	Operador de punto limpio
Plantas de pretratamiento	Operador de clasificación de residuos
	Operador de preparación para la reutilización de residuos
	Encargado/responsable de selección y clasificación de entrada de residuos
	Director de planta
Plantas de tratamiento	Operador de planta
	Operador de clasificación de residuos
	Operador de descontaminación de residuos
	Operador de desmontaje de residuos
	Encargado/responsable de planta de gestión
	Director de planta de gestión

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y Fundación Biodiversidad (s.f.).

Un aumento del número de puestos de trabajo dependerá de variables como: i) el volumen de recogida de RAEE, ii) la mejora de la gestión que se aplique y iii) el tipo de tratamiento aplicado.

A nivel de la Unión Europea (UE27)³⁰, si se lograra una meta del 70% para el reciclaje de vidrio, papel, plástico, metales ferrosos y no ferrosos, madera, textiles y residuos biológicos, las estimaciones conservadoras sugieren que se podrían crear hasta 322.000 empleos directos en el reciclaje de 114 millones de toneladas adicionales de los materiales antes mencionados. Estos nuevos empleos tendrían efectos multiplicativos en los sectores y en la economía en general y podrían crear otros 160.900 empleos indirectos (Friends of the Earth, 2010).

Debe tenerse en cuenta que, si se logran altas tasas de reciclaje mediante la exportación del material recolectado en lugar de pasar a sistemas de circuito cerrado, muchas de las oportunidades de procesamiento y manufactura podrían ser en el extranjero.

En el estudio "*Jobs from recycling*", que trata sobre los impactos de reciclaje en el empleo en Londres (London South Bank University, 2004), se señala que por cada 1.000 toneladas de RAEE recicladas por año, se obtendrían 40 empleos (cuadro 44).

Del cuadro 44 se aprecia que los RAEE corresponden a los residuos que mayor cantidad de empleos generan por material procesado en comparación a otros tipos de residuos. Esto se debe principalmente a la preparación para la reutilización y el desmontaje manual, procesos que generan un gran número de empleos (Ministerio para la Transición Ecológica y Fundación Biodiversidad, s.f.).

³⁰ EU27 corresponde a: Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia y Reino Unido.

Cuadro 44
Nuevos empleos a partir de reciclaje de materiales, en el Reino Unido

Material	Recolección y Pretratamiento por 1 000 toneladas	Tratamiento por 1 000 toneladas de residuos	Nuevos empleos por 1 000 toneladas de residuos
Plástico	15,6	0	15,6
Papel	2,6	1,9	3,5
Vidrio (mezclado)	0,33	0,42	0,75
Vidrio (separado)	0,60	0,42	0,75
RAEE	40	-	40
Muebles (no RAEE)	13,6	-	13,6
Aluminio	11	0	11
Acero	5,4	0	5,4

Fuente: London South Bank University, 2004.

El proceso de desmontar puede ser a mano, a máquina o combinando ambas técnicas. Desmontar a mano suele ser más costoso, pero logra recuperarse mayor cantidad de material útil; además, es el proceso esencial si se busca recuperar componentes para su reutilización. Algunas de las ventajas de desmontar de forma manual son (ACRR, 2007):

- Es más fácil identificar componentes que funcionan para volver a comercializarlos.
- La separación es mayor y se consume menos energía.
- Se extraen con más eficacia las sustancias peligrosas (siendo un grave problema la exposición del trabajador a ellas).

La mano de obra requerida para el proceso de desmontar es variable y depende del tipo de producto tratado. Además, dependerán también de la experiencia de los operarios y de la inversión en formación y equipos. Por ello, se contrasta la información antes presentada con el estudio de E2BIZ (2019), en donde se realiza una estimación de 41 empleados para cubrir las funciones mínimas de una planta de 1.200 toneladas a 1 turno, valor similar al presentado en el estudio de 2014 de la London South Bank University. Las toneladas que puede procesar un operario se basa en la guía "Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos" (ACRR, 2007), la que señala los tiempos que toma el desarme.

A partir de estos datos y los RAEE recolectados y valorizados en los escenarios evaluados, se estiman los empleos directos requeridos para cada escenario (cuadro 45). De esta forma, si en 2020 se recolectaran 5.387 toneladas de RAEE para reciclaje en Chile, se requerirían 215 empleados y si en 2030 se recolectaran 68.057 toneladas de RAEE, se generarían 2.722 empleos.

Cuadro 45
Creación de empleos según escenario y país^a
(En número de empleos)

País	Esc	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Chile	ESC 1	215	397	592	804	1 031	1 273	1 531	1 804	2 093	2 399	2 722
	ESC 2	484	769	1 077	1 410	1 767	2 148	2 552	2 981	3 434	3 913	4 418
	ESC 3	751	1 135	1 549	1 997	2 475	2 985	3 525	4 097	4 700	5 336	6 006
Colombia	ESC 1	257	490	738	1 003	1 286	1 586	1 904	2 241	2 598	2 974	3 369
	ESC 2	586	947	1 334	1 748	2 188	2 657	3 154	3 680	4 236	4 822	5 437
	ESC 3	839	1 328	1 853	2 416	3 015	3 653	4 330	5 047	5 805	6 603	7 442
Perú	ESC 1	159	295	440	597	764	943	1 133	1 335	1 548	1 772	2 008
	ESC 2	358	565	790	1 033	1 292	1 569	1 865	2 178	2 509	2 859	3 226
	ESC 3	564	847	1 153	1 482	1 834	2 210	2 610	3 034	3 482	3 953	4 448

Fuente: Elaboración propia sobre la base de London South Bank University, 2004 y tasas de penetración de reciclaje por escenario.

^a En los cuadros del 36 al 44 se presentan las tasas de reciclaje utilizadas.

D. Inversiones

Según E2BIZ (2019) los costos de inversión de una planta de pretratamiento dependerán de la ubicación geográfica de las mismas en el territorio. El cuadro 46 resume los valores estimados para Chile, donde los costos incluyen la compra de terrenos (de 2.400 m²), la construcción de un galpón de 1.000 m² y la habilitación del mismo (estimados a partir de las Declaraciones de Impacto Ambiental de una empresa de ejemplo). Los costos de habilitación de la planta incluyen: i) contratación de 4 personas, ii) maquinaria y equipo (solo procesos de desarme, corte, trituración, destrucción), iii) Instalación de señalética y demarcación de pasillos, y iv) adquisición de maquinarias para el vaciado de equipos refrigerantes y la máquina para tratar lámparas fluorescentes.

Cuadro 46
Costo de inversión de nueva capacidad en pretratamiento, Chile
(En dólares)

Zona Geográfica	Compra Terreno	Construcción	Habilitación Planta	Total
Norte Grande	979 640	250 000	443 448	1 673 088
Norte Chico	442 418	250 000	443 448	1 135 866
Central	424 527	250 000	443 448	1 117 975
Sur	145 852	250 000	443 448	839 300
Austral	124 460	250 000	443 448	817 909

Fuente: Elaboración propia a partir de E2BIZ, 2019³¹.

Tomando como referencia estos valores y modificando los precios de terrenos en Colombia y Perú, a partir de datos publicados en sitios web inmobiliarios, se han estimado los siguientes costos para estos países (cuadro 47).

Cuadro 47
Costo de inversión de nueva capacidad en pretratamiento, Colombia y Perú
(En dólares)

Zona Geográfica	Compra Terreno	Construcción	Habilitación Planta	Total
Colombia/ Perú	840 000 ^a	250 000	443 448	1 533 448

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Grupo Inka y Asociados SRL, 2019 y E2BIZ, 2019.

^a Valor estimado en base a precios de terrenos industriales en Perú.

Para más información: <http://www.grupoinka.pe/blog/11-Las%20zonas%20industriales%20mejor%20cotizadas%20de%20Lima>.

E. Minería extractiva versus reciclaje

La industria minera proporciona las materias primas que demanda la creciente población para su consumo. Junto a la industria primaria, está creciendo una industria minera secundaria llamada "minería urbana". Mientras mayor es la tasa de reciclaje, menor es el requerimiento de extracción primaria; la tendencia de la industria minera primaria es de costos crecientes porque los depósitos minerales "de fácil acceso" se están volviendo más escasos y las mejoras tecnológicas hacen que el reciclaje sea más competitivo.

En un contexto de economía circular, la relación entre minería y reciclaje radica en que la minería llena el vacío entre la demanda y la oferta de material reciclado. El metal reciclado tiene potencial de ser más barato y sostenible que el metal extraído. Esta brecha entre la demanda y la disponibilidad de material secundario es diferente para cada material. Por ejemplo, el oro y otros bienes de inversión no tienen un ciclo de consumo similar al del hierro, lo que hace que la dinámica del mercado de reciclaje de estos recursos sea totalmente diferente. El impacto más directo del reciclaje en la industria minera puede verse así en el consumo de metales.

³¹ Valores actualizados considerando valores de referencia de E2BIZ, 2019 y precio del dólar de 725 USD (valor 19/03/2020) según Servicio de Impuestos Internos, 2021.

El suministro de metales reciclados es más sostenible que aquel de metales obtenidos de la minería primaria. El reciclaje afecta mayormente los entornos naturales, a pesar de esfuerzos importantes del sector minero por restaurar los entornos naturales tras el cese de la actividad. Desde una perspectiva de cambio climático, el reciclaje requiere significativamente menos energía que la minería. Volver a fundir un metal existente es mucho más fácil que tener que extraer el metal de un mineral. Si bien la separación de materiales unidos y mixtos plantea un desafío para el reciclaje, el requerimiento total de energía para reciclar una tonelada de hierro es un 20% menor que para extraerlo y procesarlo. Para el cobre, el ahorro de energía es aproximadamente del 60% y para aluminio incluso del 90%.

El suministro reciclado no solo es más sostenible, sino que también existen metales y categorías de RAEE para los cuales resulta más barato el metal reciclado que el extraído. De misma manera, la recolección y separación de las corrientes de desechos que sirven como insumo para el reciclaje, pueden ser más económicas que extraer la misma cantidad de material virgen. El cuadro 48 muestra los costos de reciclaje para distintos metales según la categoría de RAEE y estos se comparan con los costos de la minería tradicional. Este cálculo se realizó considerando costos e ingresos económicos y las cantidades posibles de recolectar de cada material (por ejemplo, kg. de cobre, oro, etc.)

Cuadro 48
Costos netos de tratamiento de metales versus costos de extracción primaria
(En miles de dólares por tonelada)

	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 4	Cat 5	Cat 6	Extracción primaria
Cu	20,1	14,7	27,3	1,3	0,1	-3,3	3,3
Au	-	78 616,4	-	-	-	-5 219,6	23 845,2
Al	15,3	16,3	9,4	2,5	0,4	-9,0	1,6
Fe	2,5	10,3	1 639,7	621,1	1,3	-6,5	0,03

Fuente: Elaboración propia sobre la base de COCHILCO, 2015; BHP Billiton, 2005 e Investopedia, 2019 (*Cash cost*).

Como se puede observar a partir del cuadro 48, el reciclaje de RAEE pertenecientes a la categoría 6 (Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños) resulta ser rentable, vale decir, los beneficios percibidos son mayores que los costos incurridos en todos los metales. Esto conlleva naturalmente que el reciclaje de esta categoría es más rentable que la extracción primaria de cualquiera de los metales considerados. Para el resto de las categorías se observa que solo la obtención de aluminio y cobre en la Cat.5 (Pequeños Aparatos) y el cobre en la Cat. 4 (Grandes Aparatos) resultan ser más rentables en el reciclaje que en la extracción primaria. Es importante mencionar que los costos estimados de reciclaje no consideran economías de escala ni el desarrollo futuro de tecnologías más eficientes o menos costosas, motivo por el cual estos valores podrían variar en la medida que las instalaciones de pretratamiento logren mayor *expertise* o mayores flujos de material procesado.

F. Generación de valor agregado

En las industrias eléctrica y electrónica, el reciclaje de residuos de este tipo adquiere gran importancia por las oportunidades que se vislumbran a lo largo de la cadena de producción y comercialización. La implementación de leyes de reciclaje no solo conlleva la generación de empleos, mayor inversión y beneficios ambientales, sino que también permite crear oportunidades en las industrias mediante la incorporación de mejores prácticas y, eventualmente, un menor costo de ciertos metales producto de la minería urbana.

Una de las oportunidades posibles de identificar tiene relación con la implementación de Sistemas de Logística Inversa, utilizados para ofrecer a los clientes la recuperación de AEE obsoletos o que presenten fallas. Si bien el concepto de Logística Inversa se aplica a todos los procesos de planificación, implementación y control de materias primas, inventario en proceso, bienes terminados e información relacionada (Rogers y Tibben-Lembke, 1998); también es posible aplicar este concepto a la recolección, desensamblaje y procesamiento de

productos usados, partes de productos y/o materiales, a fin de garantizar un nuevo uso o una recuperación ecológica para estos desechos (Kokkinaki, Dekker, van Nunen y Pappis, 1999).

Kopicki (1993) investigó las oportunidades creadas en el contexto de la reutilización, el reciclaje y la eliminación de residuos de productos y envases. Debido a las diferentes implicaciones del flujo inverso, fue posible concluir que la logística inversa se convirtió en un tema importante para la reducción de residuos.

Algunas de las ventajas posibles de identificar en el campo de los RAEE tienen relación con:

- Reducción del consumo de recursos y reaprovechamiento de materiales, ya sea a través del reacondicionamiento completo de los equipos o del reciclaje de piezas para ser utilizadas en la fabricación de productos.
- La posibilidad de las empresas de abarcar nuevos mercados.
- Mejoras de la imagen de la empresa ante consumidores.
- La obtención de información de retroalimentación acerca de los productos.
- La posibilidad de acceder a clientes, como por ejemplo aquellos que cuenten con certificaciones (ISO 14000) y que, al momento de evaluar propuestas, prefieran proyectos medioambientalmente sustentables.

Otra de las oportunidades posibles de identificar tiene relación con el desarrollo de la minería urbana y el aprovechamiento de ciertos metales. Los RAEE presentan potencial económico ya que pueden dar apertura a nuevos mercados, por ejemplo a empresas de recuperación que a través del uso de tecnologías generan productos de valor agregado, impulsando el sistema de reciclaje por las ganancias que éste genera. En el caso de la minería urbana, ésta centra su interés industrial en materiales de alto valor o escasos, como son por ejemplo las Materias Primas Críticas (o tierras raras). Además, sus costos son menores en relación con los costos energéticos, ambientales y sociales de la minería tradicional (Pascuar Rengifo, Correo Cruz y Marlés Betancourt, 2018).

Dentro de los materiales y componentes que contienen los AEE, es posible encontrar algunos muy valiosos que pueden ser recuperados industrialmente, tales como el oro, la plata y el cobre; así también metales raros como: el indio, el rutenio o Materias Primas Críticas (MPC). Además, de los equipos electrónicos modernos es posible recuperar más de 19 elementos químicos de alto valor agregado.

En el caso particular de las MPC, que son económica y estratégicamente importantes para la economía europea, el reciclaje y aprovechamiento de los RAEE se presenta como una alternativa relevante para disminuir el riesgo de su suministro. Las MPC son consideradas críticas ya que son relevantes en términos económicos para sectores industriales de la Unión Europea y por el riesgo de suministro asociado puesto que son escasas y se concentran en pocos países. Las MPC son utilizadas en varios productos como: computadoras, equipos electrónicos, automóviles, maquinarias, centros de datos y equipos de defensa. Están estrechamente relacionadas a tecnologías más limpias y son irremplazables en paneles solares, turbinas eólicas, vehículos eléctricos y la iluminación eficiente.

La gestión de RAEE y la minería urbana se presentan como una alternativa de suministro de estos materiales, a la vez que minimizan problemas ambientales asociados a la minería tradicional. De potenciar la minería urbana, la gestión de estos RAEE podría ser un proveedor de recursos secundarios.

G. Resumen

El reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se ha convertido en una oportunidad económica desde el punto de vista de la minería urbana. Si bien, dentro de los RAEE es posible encontrar numerosos componentes, el aprovechamiento de metales tales como cobre, oro y plata, adquiere

especial importancia. Por otra parte, los metales pueden ser utilizados varias veces como materia prima en procesos productivos y la obtención de los mismos a partir del reciclaje de RAEE permite minimizar la extracción de materia prima proveniente de la minería tradicional y reducir el consumo de agua y energía de las operaciones extractivas.

A pesar de la gran variedad y cantidad de materiales que constituyen los RAEE, solo algunos se pueden recuperar y reciclar. Los materiales con mayor tasa de recuperación son: hierro, acero de baja aleación, acero inoxidable, aluminio, cobre, cromo y zinc. En teoría, estos componentes se pueden reciclar en un 100%.

En cuanto a la demanda de los mismos, para uso en AEE, destacan el cobre, el estaño y el antimonio. Una menor demanda se da para el rutenio y el indio en términos de toneladas. Sin embargo, si se considera la producción minera mundial, la demanda de estos metales es alta y se estima en 72% y 125% respecto de la producción existente.

La evaluación de distintos escenarios de reciclaje para los países estudiados (Chile, Colombia y Perú) permitió contrastar los consumos de AEE y la generación de RAEE en dichos países. Como se observa en el cuadro 49, de los tres países estudiados Colombia presenta el mayor consumo de AEE, lo que es consistente también con la cantidad de RAEE generados. En promedio, la tasa de crecimiento anual de RAEE para los tres países es de 3,4%³², lo cual es consistente con las tasas de generación proyectadas de 3% a 4% presentada en el informe *Global E-waste Monitor* (UNU, 2017).

Cuadro 49
Consumo de AEE y generación de RAEE, años 2020 y 2030, Chile, Perú y Colombia

País	AEE (en toneladas)		RAEE (en toneladas)		Tasa Crecimiento (en porcentajes) RAEE
	2020	2030	2020	2030	
Chile	265 268	333 389	167 895	232 901	3,3
Perú	193 291	253 696	135 111	189 900	3,5
Colombia	304 285	423 913	217 588	302 342	3,3

Fuente: Elaboración propia sobre la base de UN Comtrade, 2021 y producción nacional.

En términos de consumo de AEE y generación de RAEE per cápita, Chile presenta los mayores niveles entre los tres países. A pesar de esto, la mayor tasa de crecimiento de generación de RAEE per cápita la presenta Perú, con un valor del 2,5%.

Cuadro 50
Consumo de AEE y generación de RAEE per cápita, años 2020 y 2030, Chile, Perú y Colombia

País	kg AEE/hab		kg RAEE/hab		Tasa Crecimiento RAEE/hab
	2020	2030	2020	2030	
Chile	14.7	16.9	9.3	11.8	2,4%
Perú	5.9	7.1	4.1	5.3	2,5%
Colombia	6.0	7.6	4.3	5.5	2,3%

Fuente: Elaboración propia sobre la base de UN Comtrade, 2021; información de servicios de aduana nacionales; producción nacional; INE, 2017; INEI, 2017 y Banco Mundial, 2019.

A partir de la información disponible en cada país, se han logrado estimar las tasas de reciclaje de RAEE en los tres países. Las tasas obtenidas son similares en los tres: 3,8% para Chile (año 2017), 4,1% para Perú (año 2018) y 3,5% para Colombia (año 2018).

32 Para periodo 2020-2030.

Con respecto a la evaluación de los escenarios, la aplicación de las tasas de reciclaje seleccionadas, permite obtener tasas de recolección globales para el período 2020-2030. Los resultados obtenidos arrojan que al año 2030 los países en estudio se asemejarían a los actuales estados de reciclaje de Grecia (tasa de recolección de 31%, similar a Escenario 1), España (tasa de recolección de 32%, similar a Escenario 1), Eslovaquia (tasa de recolección de 43%, similar a Escenario 2), Países Bajos (45%, similar a Escenario 2), Letonia (47%, similar a Escenario 2), Finlandia (59%, similar a Escenario 2), Suiza (61%, similar a Escenario 2) y Bulgaria (67%, similar a Escenario 3 para Colombia y Chile), dependiendo del escenario considerado.

Los mayores costos netos de implementar los escenarios evaluados se presentan en Colombia, lo que es consistente con las cantidades proyectadas de generación de RAEE (cuadro 51).

Cuadro 51
Valor presente de costos de gestión de RAEE según país y escenario^a
(En miles de dólares)

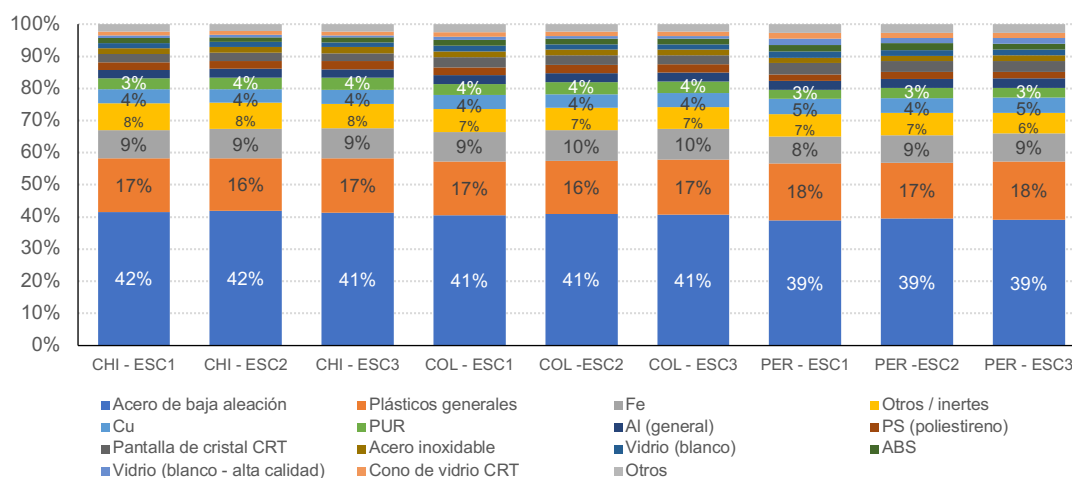
Escenario	ESC 1	ESC 2	ESC 3
Chile	65 227	113 554	157 879
Colombia	88 358	149 877	199 813
Perú	50 123	85 639	118 893

Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados y costos de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

^a Tasa de descuento empleada del 6%.

El análisis de la valorización de materiales posibles de obtener a partir del reciclaje de RAEE muestra que los principales componentes en términos de peso corresponden a: acero de baja aleación, plásticos, hierro y materiales inertes. Para el período 2020-2030, estos componentes representan en conjunto más del 70% del peso total de los materiales. La distribución de estos componentes se mantiene constante en cada país para todos los escenarios evaluados (gráfico 14).

Gráfico 14
Distribución porcentual de materiales, Escenarios 1 al 3
(En porcentajes)



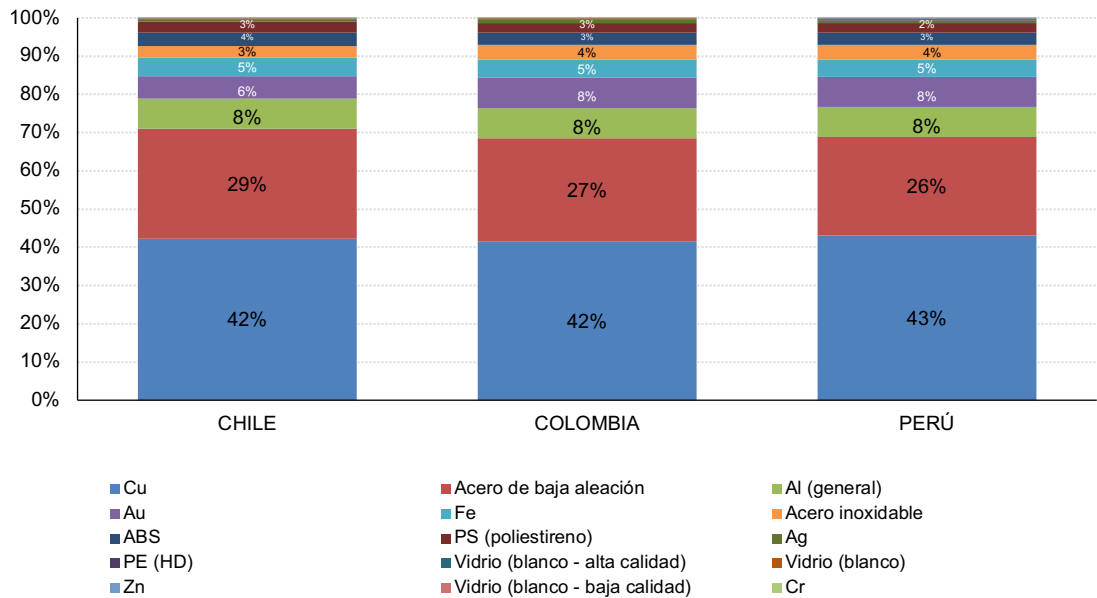
Fuente: Elaboración propia sobre la base de registros históricos de AEE comercializados y costos de UNU, CBS, BIO, REC, 2014.

Tomando en consideración los precios de venta de los componentes de los RAEE y su composición dentro de cada escenario evaluado, es posible determinar aquellos componentes que resultan ser más

rentables en cada caso. El análisis según componentes arroja que las ganancias obtenidas por valorización de materiales provienen principalmente del cobre y el acero, seguido en menor media de aluminio, oro y fierro.

El gráfico 15 desglosa los beneficios obtenidos para el período 2020-2030 en el escenario 1. Los valores obtenidos para los escenarios 2 y 3 son similares a los presentados para el escenario 1.

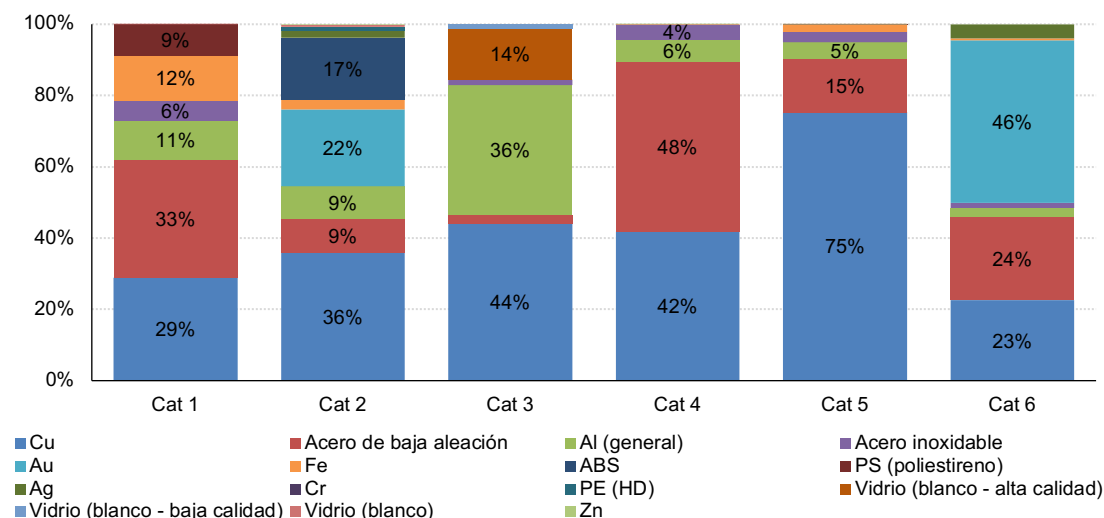
Gráfico 15
Beneficios económicos de la valorización de materiales, período 2020-2030, Escenario 1
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las categorías evaluadas (de 1 a 6), se observan diferencias en cuanto a la composición y valorización de los RAEE. El gráfico 16 presenta los beneficios obtenidos para el Escenario 1 en Chile al año 2030.

Gráfico 16
Desglose de beneficios económicos según componentes, Chile Escenario 1, año 2030
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la categoría 1 (Equipos de intercambio de Temperatura), los principales componentes valorizados corresponden a acero y cobre (52% en conjunto). En la categoría 2 (monitores y pantallas) destaca el cobre y el oro (58% en conjunto). Para la categoría 3 (lámparas) destacan el cobre y el aluminio (80% en conjunto). En las categorías 4 y 5 (grandes y pequeños aparatos) sobresalen el cobre y el acero (90% en conjunto para ambos casos). Por último, para la categoría 6 (pequeños aparatos informáticos) destacan: oro, acero y cobre (93% en conjunto).

Sobre el empleo generado, la literatura estima que por cada 1.000 toneladas de RAEE reciclados al año, se obtienen 40 empleos relacionados a labores de recolección, transporte, almacenamiento, pretratamiento, tratamiento, medición y control, entre otros. Para los escenarios evaluados, la generación de empleo estaría directamente relacionada a las metas establecidas. Al año 2030 la cantidad de empleos para cada escenario se estima según se presenta en el cuadro 52.

Cuadro 52
Creación de empleos año 2030, según escenario y país

ESC/2030	Chile	Colombia	Perú
ESC 1	2 722	3 369	2 008
ESC 2	4 418	5 437	3 226
ESC 3	6 006	7 442	4 448

Fuente: Elaboración propia en base a número de empleos London South Bank University, 2004 y tasas de penetración de reciclaje por escenario.

El establecimiento de metas de reciclaje de RAEE requiere de inversión para la construcción y habilitación de plantas de pretratamiento. Se estima que los costos, para plantas de capacidad de 1.200 toneladas anuales, varían entre 817 mil dólares y 1.673 mil dólares dependiendo del país.

A partir de los costos y beneficios estimados para el reciclaje de los RAEE y los costos de extracción primaria en minería, es posible identificar solo tres casos en los que el reciclaje resulta ser una

mejor opción en términos económicos. El primer caso es la categoría de "Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños" (categoría 6), para la cual el reciclaje siempre resulta ser más rentable respecto a la extracción primaria, independientemente del tipo de metal analizado. Los otros dos casos corresponden al cobre en la categoría 4 (Grandes Aparatos) y al aluminio y cobre en la categoría 5 (Pequeños Aparatos). Para todas las otras instancias, la extracción primaria resultaría ser aún más costo efectiva que el reciclaje, situación que podría variar en el tiempo si se consideraran economías de escala y mejoras tecnológicas, entre otras

III. Impactos socioambientales de la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en los países Andinos

El ciclo de vida de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) desde la obtención de la materia prima, su transformación, manufactura, distribución, venta, uso y manejo posconsumo, puede presentar un alto impacto sobre el ambiente. Por ello, la gestión de los Residuos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) es una oportunidad para obtener mejoras tanto ambientales como económicas. Algunos de los beneficios de una adecuada gestión de estos residuos son (AMPHOS, 2015):

- El ahorro energético durante el procesamiento de materiales por ser de origen reciclado.
- La recirculación de materiales en el mercado productivo.
- La preservación de los recursos.
- El incremento de la vida útil de los rellenos sanitarios.
- El mayor control de la gestión y, por lo tanto, de la contaminación del agua, aire y el suelo.
- La reducción de los efectos adversos sobre la salud humana.
- La reducción del impacto sobre fauna y flora.

La explotación de materias primas involucradas en el proceso de producción de los AEE presenta a la minería urbana como una oportunidad para reducir el impacto en el ambiente dado que permite obtener metales comunes y raros con una menor emisión de CO₂ con respecto a la minería tradicional (E2BIZ, 2019).

A. Impactos por decrecimiento de descarga de contaminantes

Uno de los efectos positivos inmediatos en materia medioambiental de una correcta gestión de los RAEE, es el decrecimiento gradual de la presencia de contaminantes propios de estos desechos en lugares de disposición final inadecuados, mal gestionados y de nulo seguimiento por parte de los consumidores y productores/importadores. Actualmente en Chile se estima que un 81,5% de los RAEE tiene un destino desconocido, esto se puede deber principalmente a: 1) no poseer un sistema de gestión de los productores para recuperar sus residuos y 2) falta de infraestructura pública para manejar tales residuos, aún más en los aparatos de gran volumen.

El manejo adecuado de los RAEE previene la disposición inadecuada de residuos peligrosos que se pueden relacionar a una fracción del RAEE. En algunos casos es difícil cuantificar las sustancias peligrosas; por ejemplo, un monitor CRT estándar tiene un peso de alrededor 15 kg y el 71% de este peso corresponde a tubos catódicos y plomo. Dicho esto, 10,65 kg corresponderían a tubos catódicos y plomo en conjunto, siendo difícil la desagregación entre ambos.

La valoración de materias primas principalmente metálicas, como cobre o aluminio, permite desplazar la extracción primaria de materiales. Por ello, existe ahorro de materias primas, lo que se traduce también en las reducciones correspondientes de consumo de energía y de emisiones de gases efecto invernadero.

B. Impacto social y disminución de efectos en la salud

La implementación de sistemas de reciclaje de RAEE permite ampliar el mercado existente y los servicios que éste requiere (transporte, servicios de logística, entre otros), generando la oportunidad de crear nuevas empresas y empleos, e incrementar la concientización social a partir de las campañas de sensibilización. Considerando los factores de desarrollo humano y local, los impactos de la gestión de los RAEE radican en mejorar la calidad de vida, reduciendo la contaminación visual y la proliferación de zonas de acopio.

La implementación de la normativa en temas de residuos eléctricos y electrónicos permite disminuir la disposición inadecuada de contaminantes peligrosos en zonas ilegales o sitios eriazos, a través de la imposición de tasas de reciclaje. Dado esto, la reducción del porcentaje que se dispone en estos sitios conlleva a un menor riesgo de exposición de la población, así como también a una menor contaminación de los cursos de agua, del suelo o del aire.

Cabe destacar los potenciales problemas de salud sobre quienes trabajan en la manipulación de ciertos RAEE las condiciones de seguridad necesarias para manipular y separar ciertos elementos. Algunos riesgos derivados de la manipulación de los RAEE son:

Cuadro 53
Riesgos para la salud por manipulación de RAEE

Tipo de Residuo	Peligros de manipulación
RAEE con gases en su interior	RAEE: Manipulación sin uso de Elementos de Protección Personal. Al realizar corte o alteración física al residuo. Al tener contacto dérmico (cortes). Gas ^a : Asfixia rápida por inhalación de gases. Congelaciones por contacto directo con líquido. Explosión a altas temperaturas debido a exposición a fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes.
Pantallas y Monitores	Irritación en condición de exposición directa con compuestos de plomo: irritación al inhalarlo en altas temperaturas, por ingestión, por contacto ocular, por contacto dérmico. Manipulación sin uso de Elementos de Protección Personal. Al realizar cortes o alteración física al residuo ^b .
Lámparas con residuos peligrosos en su interior	Rotura de lámpara por mala manipulación. En caso de rotura de las lámparas produce un riesgo correspondiente a la liberación del mercurio quedando en la atmósfera antes de depositarse, lo que permite que se transporte lejos de la fuente de emisión. Mercurio: efectos sistemáticos en humanos en riñones, hígado, estómago, intestinos, pulmones y una especial sensibilidad al sistema nervioso ^c .
Residuos eléctricos y electrónicos con residuos peligrosos en su interior	Manipulación sin uso de Elementos de Protección Personal. Al realizar corte o alteración física al residuo. Al tener contacto dérmico (cortes). Exposición a compuestos de cadmio, litio, níquel y otros que compongan pilas o baterías dentro de los residuos electrónicos ^d .

Fuente: Elaboración propia.

^a Para más información, véase: <http://www.indura.cl/content/storage/cl/producto/41618c7eb10342c882df4d83562854f6.pdf>.

^b HDS – PANTALLAS Y MONITORES. RECYCLA CHILE S.A.

^c Para más información, véase: http://www.ecolamp.cl/gestion_tubos.pdf.

^d HDS RAEE Peligrosos – RECYCLA CHILE S.A.

C. Impactos en la comunidad

La sociedad en sí representa uno de los impactos positivos no cuantificables más relevantes frente a la implementación de un sistema de gestión de reciclaje. Los beneficios se centran en tres puntos:

- Una infraestructura al alcance de los usuarios facilita la entrega de los residuos. Por su parte, los productores/importadores se hacen cargo de los residuos resultantes de mejor manera, estableciendo muchas veces procesos logísticos eficientes tanto para el usuario como para el productor.
- El aumento gradual de las tasas de recolección y el alcance de los sistemas de gestión ambiental disminuyen la demanda de disposición en vertederos o basurales sin una regulación legal. Esto es consecuencia de que existan responsables definidos a cargo de incentivar la recolección de los residuos para un destino que incluya la valorización.
- La generación de un cambio de paradigma y conciencia en la sociedad, donde se incremente la participación ciudadana en el manejo de los RAEE entregándolos a los gestores, puntos verdes, puntos limpios o campañas públicas o privadas para su posterior tratamiento.

D. Resumen

El ciclo de vida de los AEE presenta un alto impacto en el ambiente durante su manufactura, distribución, uso y manejo posconsumo; por esto, la gestión de los residuos eléctricos y electrónicos (RAEE) es una oportunidad para obtener mejoras ambientales y también económicas.

El correcto reciclaje de los RAEE en términos ambientales genera la gradual disminución de de contaminantes en lugares inadecuados de disposición final. Esta reducción origina un menor riesgo de exposición de la población y una menor contaminación de los cursos de agua, del suelo y aire. La minería

urbana permitiría transformar la extracción tradicional de materia primas, aprovechando la valoración de estas materias presentes en los RAEE, reduciendo el impacto en el entorno, el consumo de energía y las emisiones de gases efecto invernadero.

El desarrollo de sistemas de gestión de reciclaje de los RAEE genera la oportunidad de crear nuevas empresas y empleos, además de incrementar la concientización social. Es importante recalcar que el incumplimiento de las medidas de seguridad necesarias conllevaría a potenciales problemas de salud derivados del trabajo de manipulación y separación de elementos de los RAEE. Algunos de los riesgos asociados a la manipulación de los RAEE con gases en su interior son la asfixia por inhalación, las congelaciones por contacto directo con líquido y la explosión a altas temperaturas. Para el caso de pantallas y monitores, los riesgos para la salud se relacionan con la irritación en condición de exposición directa con compuestos de plomo, o bien, el riesgo de liberación de mercurio durante el reciclaje de lámparas con residuos peligrosos en su interior.

IV. Condiciones necesarias para que se implemente la gestión de RAEE en los países Andinos

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) requieren un manejo diferenciado entre los residuos sólidos urbanos y los residuos peligrosos. Esto se debe a algunas de sus características, como: i) el potencial de aprovechamiento y valorización como materias primas o insumos productivos, ii) la presencia de compuestos tóxicos que requieren un manejo ambientalmente adecuado y iii) el acelerado crecimiento de los RAEE producto de los recambios tecnológicos y las preferencias de los consumidores (RELAC, 2011).

Para el desarrollo adecuado de la gestión de los RAEE se plantean las siguientes condiciones básicas y necesarias (RELAC, 2011).

A. Inclusión de la Ley REP en los marcos normativos

En RELAC (2011) se recomienda que los gobiernos incorporen el principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) dentro de los marcos normativos nacionales para ser aplicado en la gestión de los RAEE generados en el país, entre otros residuos. Dicho principio plantea responsabilidades mínimas para el productor (o el importador en la eventualidad de que un producto no se produzca dentro del país), como por ejemplo la presentación ante la autoridad ambiental de un plan o sistema integral posconsumo y la garantía del correcto funcionamiento del sistema (en sus etapas de implementación, desarrollo y administración). Asimismo, se recomienda que los productores asuman la responsabilidad de elaborar productos que por sus características prevengan la generación de residuos y faciliten la reutilización y reciclaje de los productos, o permitan un tratamiento y eliminación amigable con el medio ambiente y la sociedad (ecodiseño).

En principio, se permite que la REP se pueda desarrollar tanto en sistemas individuales como en sistemas colectivos. Se recomienda también permitir a los productores de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) la libre elección entre uno y otro sistema.

Para la implementación de un sistema de gestión de RAEE se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Ciclo de vida del producto (desde el diseño hasta su valorización y disposición final).
- Etapas de la gestión de RAEE (recolección, transporte, almacenamiento, desmontaje, reacondicionamiento, reciclaje y disposición final).
- Diseño e implementación y, en algunos casos, administración y seguimiento del sistema.
- Instrumentos administrativos, económicos e informativos.

B. Responsabilidades de los actores involucrados

Los actores involucrados en el sistema de gestión de los RAEE incluyen a distribuidores, comercializadores (mayoristas y minoristas), gestores (acopiadores, transportistas, operadores, tratadores, empresas de reciclaje y/o exportadores), consumidores, organizaciones de la sociedad civil y los gobiernos (nacionales, provinciales, estatales o locales). El cuadro 54 presenta las responsabilidades de cada actor dentro de los sistemas de gestión de los RAEE.

Cuadro 54
Responsabilidades de actores involucrados en el sistema de gestión de RAEE

Actor involucrado	Responsabilidades
Comercializados	Asegurar que los productos comercializados localmente cumplan con la legislación nacional existente (normas de importación y RAEE). Se sugiere que los comercializadores faciliten parte de sus instalaciones como centro de recolección en caso de requerirse, a fin de asegurar la disponibilidad adecuada de puntos de recolección.
Gobierno	Desarrollo marco normativo basado en el principio de REP, que regulen los aspectos de los RAEE. Establecer políticas de educación, salud y medio ambiente, en coordinación con el sector privado y las organizaciones de la sociedad civil. Determinar metas de recolección y reciclaje de RAEE progresivas y escalonadas, fundamentadas en datos oficiales, información real y en consenso con los partes involucrados. Se recomienda que los municipios o gobiernos locales colaboren con los procesos de gestión de los RAEE armonizando sus estrategias y programas municipales en los casos que sean posibles, especialmente en la recolección y sensibilización de la población.
Consumidor	Asumir un consumo responsable con el medio ambiente, mediante la compra de equipos que cuenten con programas completos de gestión hasta el final de su ciclo de vida. Consumidor final deberá ingresar los RAEE en los sitios designados por los planes post-consumo, y no disponer de ellos en la corriente de residuos sólidos domiciliarios o en la vía pública.
Empresas de desensamble y reciclaje	Estén formalizadas, autorizadas y registradas como requisito para participar en el sistema de gestión de RAEE. Cumplimiento de los estándares técnicos, ambientales y de calidad que se establezcan para la gestión de RAEE. Aseguren el adecuado procedimiento en el reacondicionamiento de los equipos manteniendo criterios de calidad del producto original.

Fuente: RELAC, 2011.

C. Metas de recolección

Se recomienda definir metas de recolección teniendo en cuenta especialmente el tamaño y las condiciones del mercado, la penetración por categoría de AEE, el ciclo de vida de éstos, los mecanismos de financiamiento de gestión de RAEE adoptados y las condiciones de infraestructura local, en consulta con los productores de AEE, sobre la base de la información oficial.

Respecto a la recuperación de materiales y niveles de reciclaje, la definición de metas se debe definir en base a análisis previos en cuanto a las condiciones y ofertas locales y serán asignadas a los sistemas de gestión aprobados, ya sean estos colectivos o individuales.

La definición de las metas y la implementación del sistema de gestión de los RAEE debería realizarse de manera gradual, considerando las categorías de productos, el volumen de recolección y el área geográfica a cubrir. Se sugiere la revisión periódica de estas metas y con monitoreo de ajuste, a fin de adaptarlos a la realidad local.

D. Mecanismo de financiamiento

Según RELAC (2011) se debe considerar la creación de un sistema financiero transparente y sin fines de lucro, que establezca criterios respecto a los costos de gestión de los RAEE. Este sistema debe considerar como mínimo los costos asociados a la recolección, el transporte, la información al consumidor, el reciclaje, la administración y el monitoreo y la auditoría de los actores principales, así como las demás etapas involucradas en el sistema de gestión de los RAEE.

Además, se deben considerar aspectos como: los puntos de pago, las ventas por internet, los montos de reserva de operación, el financiamiento inicial del sistema de gestión propuesto, la creación de fondos para el sistema y asegurar la transparencia de los costos de la gestión.

Por otra parte, los sistemas pueden considerar diferentes alternativas para el financiamiento como los sistemas de tasa anticipada de reciclaje e la internalización de costos. El financiamiento se debe elegir en función de las necesidades del sistema y previo consenso de las partes involucradas.

En el proceso de diseño del sistema de financiamiento de la gestión de los RAEE se recomienda considerar la creación de incentivos tributarios o arancelarios u otros instrumentos económicos destinados a aquellos actores que se comprometan a asumir los costos de la gestión de los equipos históricos, aquellos puestos en el mercado antes de establecer la regulación y aquellos equipos para cuyos productores hayan cesado operaciones o se hayan retirado del mercado.

En lo que concierne al diseño del sistema de gestión de RAEE se proponen las siguientes etapas para su manejo: recolección, almacenamiento, transporte, reúsos, reciclaje y disposición final.

A continuación, se describen algunas condiciones generales para cada una de estas etapas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010a).

1. Recolección y almacenamiento

Corresponde a la etapa clave en el sistema de reciclaje, pues un sistema de recolección eficaz depende de esquemas de recolección accesibles y eficaces para el usuario y de la divulgación de información a los usuarios de forma coherente y adecuada.

La etapa de recolección es la más costosa, debido a las características de los RAEE que muchas veces pueden ser voluminosos y delicados, lo que, además, resulta en costos representativos que pueden depender principalmente de la distancia, cantidad y calidad de los RAEE. A continuación se describen algunos aspectos importantes del proceso de recolección y almacenamiento:

- **Puntos de recolección:** estos puntos pueden ser determinados por el fabricante o importador (recibir directamente o recoger los RAEE de su marca); punto de venta (distribuidor), puntos establecidos para la entrega o recolección de RAEE, o bien recolección directa por la empresa de reciclaje.

- **Requisitos técnicos para puntos de recolección:** estos deben cumplir con ciertas características habilitantes tales como lugar techado protegido de las condiciones ambientales, clasificación por categoría de RAEE y depósito temporal en contenedores.
- **Requisitos técnicos para instalaciones de almacenamiento:** para las instalaciones de almacenamiento se debe considerar una capacidad adecuada para el manejo de RAEE, se deben mantener registros de inventarios y documentar los procedimientos que se llevan a cabo en el sitio de almacenamiento.
- **Almacenamiento y empaque para casos especiales:** Se deben almacenar, envasar y rotular los componentes que pueden contener sustancias peligrosas.

2. Transporte y logística

La logística del transporte de los RAEE dependerá del tipo de residuo y del nivel de desensamble o reciclaje que tenga; por ejemplo, puede haber transporte tanto de equipos enteros en desuso como de sus componentes después del desensamble. Algunas condiciones generales con las que debe contar el transporte de RAEE son: i) durante el transporte se debe evitar que las personas no autorizadas tengan acceso a la carga con el fin de evitar la adición o pérdida de partes o piezas de equipos sin supervisión, ii) la carga en el vehículo debe estar debidamente empacada, acomodada, apilada, sujeta y cubierta de tal forma que no presente peligro ni para la vida de las personas ni para el medio ambiente.

Para el caso del transporte de equipos en desuso se debe empacar de tal manera de conservar y evitar cualquier tipo de fractura, además de evitar cualquier tipo de emisión y/o derrame en el ambiente. Por su parte, los diferentes componentes resultantes del desensamble de RAEE pueden ser transportados hacia plantas específicas para aprovechamiento, tratamiento o disposición final y se debe tener en cuenta que los componentes deben ser correctamente empacados para evitar cualquier pérdida o emisión peligrosa al ambiente. Por ende, se recomienda que estos se dispongan en cajas de cartón o madera.

3. Reúso

Las principales formas de reutilizar los RAEE son: i) de forma directa sin realizar ninguna adecuación al equipo, ii) a través de la reutilización de uno o más componentes de dicho equipo, iii) a través del reacondicionamiento y reparación de un equipo en desuso de tal manera que pueda ser usado en un nuevo ciclo de vida.

Para la clasificación y evaluación se deben considerar ciertos criterios como, por ejemplo, la edad del aparato, el tipo de RAEE, el modelo y el estado general. De esta forma se identifican las limitantes en cuanto a la tecnología de sus componentes.

Para el reacondicionamiento es importante tener presente las instalaciones y las limitaciones de los procesos para realizar la reparación de los aparatos eléctricos y electrónicos, como son el desensamble y la limpieza de los equipos.

4. Reciclaje

El reciclaje de los RAEE se puede realizar de manera manual, mecánica o combinando ambas técnicas. En la etapa de reciclaje se pueden considerar los procesos de aprovechamiento y valorización, con el objetivo de recuperar algunos recursos contenidos en estos residuos.

Se debe recalcar que, después de que se hayan extraído los contaminantes que pueden estar presentes en algunos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, algunos desechos se pueden destinar a procesos de reciclaje por medio del cual se obtienen tres grandes grupos de materiales: vidrios, plásticos y metales.

Dentro de los procesos de aprovechamiento destacan: la fundición, la refinación, la recuperación química y la incineración controlada.

5. Disposición final

Generalmente, una vez concluida la etapa de manejo de RAEE queda una fracción no aprovechable, que puede ser dispuesta en rellenos sanitarios o rellenos de seguridad. El lugar de la disposición dependerá del sistema de gestión y de los estándares técnicos de los procesos.

V. Conclusiones

El análisis de las experiencias de tres países con avances en el campo de la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) permite identificar algunas características comunes y relevantes para el éxito de los sistemas de recolección y valorización.

Dentro de las características comunes identificadas en Suiza, Colombia y Japón se encuentran:

- El establecimiento de la política de Responsabilidad Extendida del Productor como sustento de los sistemas de gestión.
- El desarrollo de un marco normativo que define los actores involucrados y sus responsabilidades dentro de la legislación.
- La definición de artefactos afectos a las leyes y normativas de reciclaje.
- La libertad entregada a los productores para definir los sistemas de gestión que les permitan cumplir sus obligaciones.
- El desarrollo de sistemas de gestión que están estrechamente asociados con industrias específicas, de modo que respondan a las necesidades particulares de estas industrias o empresas.

Los sistemas de gestión implementados en estos tres países presentan también ciertas diferencias. Una de las principales diferencias identificadas tiene relación con la existencia o inexistencia de tarifas que financian los sistemas de gestión y con el momento en que éstas son aplicadas. En este sentido, es posible distinguir tarifas que son aplicadas al momento de la venta de productos, como ocurre en Suiza, y tarifas pagadas al momento de la entrega de los RAEE, como ocurre en Japón y Colombia para grandes electrodomésticos. Además, se identifican casos en los cuales no existen cobros asociados al tratamiento de los RAEE, como lo son los pequeños electrodomésticos de Japón. Una segunda diferencia identificada tiene relación con la cobertura de los RAEE en los marcos normativos. En el caso de Suiza, por ejemplo, la legislación considera siete tipos de artefactos, mientras que en el caso de Japón la normativa se restringe a televisores, aires acondicionados, refrigeradores, lavadoras y

pequeños electrodomésticos. Por su parte, Colombia sólo ha definido en forma explícita responsabilidades para computadores, periféricos y bombillas.

El tratamiento y la valorización de los RAEE en cada país está directamente relacionado al tipo de tecnologías disponibles en las plantas gestoras. En Japón y Suiza, por ejemplo, la valorización de los RAEE logra ser realizada dentro de los países puesto que éstos cuentan con las tecnologías necesarias para hacerlo. Al contrario, en Colombia los procesos de desmontaje son básicamente de tipo manual y las partes recuperadas son exportadas para su recuperación y reciclaje de los componentes. En este sentido, sobre todo para países en vía de desarrollo, se hace relevante asegurar mínimos viables que garanticen la rentabilidad de las inversiones necesarias para la adquisición de tecnologías que permitan valorizar los RAEE dentro del territorio nacional.

La evaluación de distintos escenarios de metas de reciclaje en Chile, Perú y Colombia, permitió identificar a Colombia como el país de mayor consumo de AEE y generación de RAEE a la fecha, con valores de 304.285 toneladas y 217.588 toneladas respectivamente al año 2020. En segundo lugar se encuentra Chile, con 265.268 toneladas de AEE y 167.895 de RAEE al 2019, y en tercer lugar Perú con 193.291 de AEE y 135.111 toneladas de RAEE.

En promedio, la tasa de crecimiento anual de RAEE para los tres países es de 3,4%, lo cual es consistente con las tasas de generación proyectadas de 3% a 4% en la literatura existente.

En términos de consumo de AEE y generación de RAEE per cápita, actualmente Chile presenta los mayores niveles entre los tres países (14,7 kg AEE/hab y 9,3 kg RAEE/hab). Seguido se encuentran Colombia (6,0 kg AEE/hab y 4,3 kg RAEE/hab) y Perú (5,9 kg AEE/hab y 4,1 kg RAEE/hab). Se estima que esta relación se mantendrá hasta el año 2030. Las tasas de crecimiento de generación de RAEE/hab son similares para los tres países: 2,5% para Perú; 2,4% para Chile y 2,3% para Colombia.

Una de las dificultades presentadas para la estimación de AEE y RAEE en Colombia y Perú tiene relación con la estimación de la fabricación nacional de cada país. En este sentido, mejores estimaciones podrían obtenerse si esta información estuviese disponible.

Con respecto a la evaluación de los escenarios, la aplicación de las tasas de reciclaje seleccionadas permiten concluir que al año 2030 los países en estudio lograrían las actuales tasas de recolección de países como Grecia, España, Eslovaquia, Países Bajos, Letonia, Finlandia, Suiza o Bulgaria, dependiendo del escenario considerado.

En relación a los costos asociados, se identifica que la categoría de "Equipos de informática y telecomunicaciones pequeños" (Categoría 6) presenta beneficios económicos mayores a los costos asociados. En el resto de los artefactos esta situación no ocurre y, por lo tanto, se requiere necesariamente de la aplicación de una tarifa para financiar el sistema de gestión de residuos. El costo de los escenarios evaluados varían entre los 65,2 millones USD y 157,9 millones USD para el caso de Chile, entre 88,4 millones USD y 199,8 millones USD para el caso de Colombia y entre 50,1 millones USD y 118,9 millones USD para Perú.

El análisis de la valorización de materiales posibles de obtener a partir del reciclaje de los RAEE, arroja que, de un total de 49 materiales, los principales componentes en términos de peso (toneladas) corresponden a: acero de baja aleación, plásticos, hierro y materiales inertes. Para el período 2020-2030, estos componentes representan en conjunto más del 70% del peso total de los materiales.

Si bien, los sistemas de gestión de los RAEE requieren necesariamente de inversión, así como también de financiamiento para su operación, es posible identificar beneficios económicos asociados a la valorización de sus componentes. En este sentido, el estudio ha permitido identificar los principales componentes en términos económicos para los escenarios evaluados son: acero, aluminio, cobre, fierro y oro. En conjunto, para todos los escenarios y países evaluados, estos componentes representan

alrededor del 93% del total de los componentes valorizados. Los restantes componentes valorizados corresponden a: cromo, plásticos, plata, vidrio y zinc.

En términos económicos más del 60% de la valorización de los componentes evaluados corresponde a metales y alrededor del 30% corresponde a acero. Si bien, dichos valores dependerán de la composición de los RAEE a tratar, es posible identificar estos elementos como relevantes dentro de los sistemas de valorización.

En relación a la cantidad de empleo generado, la literatura existente estima que por cada 1.000 toneladas de RAEE reciclados por año, se obtienen 40 empleos relacionados a labores de recolección, transporte, almacenamiento, pretratamiento, tratamiento, medición y control, entre otros. En el caso de los escenarios evaluados, la generación de empleo estaría directamente relacionada a las metas establecidas. De este modo se estima que al año 2030, en un escenario óptimo (Escenario 3), la cantidad de empleos generados en Chile, Colombia y Perú podría llegar a 6.006, 7.442 y 4.448 puestos de trabajo respectivamente.

En relación a los metales, el valor de los *commodities* y el tipo de cambio juegan un rol relevante en los resultados de la evaluación de los escenarios. Por otra parte, si bien no fue posible identificar precios ni participación de todas las Materias Primas Críticas en las categorías de RAEE estudiadas, la valorización de los mismos podría eventualmente ser relevante en términos económicos dada la condición de importancia de estos materiales en diversas industrias. Este análisis podría ser evaluado si se consideran aparatos más específicos.

Bibliografía

- Abernethy, M.A., Bouwens, J. y van Lent, L. (2004), Determinants of Control System Design in Divisionalized Firms *Accounting Review*, Vol. 79, No. 3 [en línea] <https://ssrn.com/abstract=502422>.
- ACRR (Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje) (2007), La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos [en línea] <http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/LaGestionRAEE.pdf>.
- Alcívar Trejo, C., Acebo Moran, J. y Calderón Cisneros, J. (s.f.), Metales Preciosos en Residuos Electrónicos para su Refinería en el Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- Amemiya, T. (2018), Current State and Trend of Waste and Recycling in Japan, *International Journal of Earth & Environmental Sciences*, Vol. 3, doi: 10.15344/2456-351X/2018/155.
- AMPHOS (2015), Evaluación de los Impactos Ambientales, Sociales y Económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile aplicada a los Aparatos Eléctricos [en línea] <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Impactos-aparatos-electricos-2014.pdf>.
- ANLA (2019), Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos - SRS de Computadores y/o Periféricos, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [en línea] <http://portal.anla.gov.co/sistema-recoleccion-selectiva-y-gestion-ambiental-residuos-srs-computadores-yo-perifericos>.
- Ardi, R. e I. Yogyakarta (2016), Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Management Systems in the Developed and the Developing Countries: A Comparative Structural Study, [en línea] https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00042445/Ardi_Diss.pdf.
- Area de Medio Ambiente y Paisaje Tenerife (2011), Anexo I. Estudio nacional e internacional de modelos de gestión de residuos: 6 - Residuos Voluminosos/RAEE, Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife, España [en línea] https://www.tenerife.es/planes/PTEOResiduos/adjuntos/Anexo01_Info06.pdf.
- Ávila Soto, R. y J. F. Jaramillo (2013), Recomendaciones para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - RAEE en Colombia: El Caso Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, Pontificia Universidad Javeriana, Cartagena De Indias, Colombia.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt) (2019a), Aparatos eléctricos y electrónicos [en línea] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfallwegweiser-a-z/elektrische-und-elektronische-geraete.html>.
- _____(2019b), Federal Office for the Environment (FOEN) [en línea] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/office/the-foen-in-brief.html>.
- _____(2018), Sonderabfallstatistik 2017, Abteilung Abfall und Rohstoffe, diciembre de 2018.

- _____. (2017), Substance flows in Swiss e-waste: Metals, non-metals, flame retardants and polychlorinated biphenyls in electrical and electronic devices, Federal Office for the Environment (FOEN), Berna.
- Baldé, C. P. *et al.* (2017), Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos – 2017, Universidad de las Naciones Unidas (UNU), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Viena [en línea] <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM202017/GEM202017-S.pdf>.
- Baldé, C. P. *et al.* (2015), E-waste statistics: Guidelines on classifications, reporting and indicators. United Nations University, IAS - SCYCLE, Bonn, Germany [en línea] https://i.unu.edu/media/ias.unu.edu-en/project/2238/E-waste-Guidelines_Partnership_2015.pdf.
- Banco Central de Chile (2019), Cuentas Nacionales de Chile, 2013-2018. Producto interno bruto trimestral por clase de actividad económica, volumen a precios del año anterior encadenado [en línea] https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Informes/anuarioCCNN/index_anuario_CCNN_2018.html?chapterIdx=-1&curSubCat=-1.
- Banco Central de Reserva del Perú (2019), BCRPData, PBI por sectores: [en línea] <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/pbi-por-sectores>.
- Banco Mundial (2019), Población total, Colombia [en línea] https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?locations=CO&name_desc=false.
- _____. (2018), Datos de libre acceso del Banco Mundial [en línea] <https://datos.bancomundial.org>.
- BHP Billiton (2005), Presentation to the Investment Community [en línea] https://www.bhp.com/-/media/bhp/documents/investors/reports/2005/aluminiumanalystspress_london.pdf?la=en.
- Bo, B. y K. Yamamoto (2010), Characteristics of E-waste Recycling Systems in Japan and China, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 38: 500–506.
- COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre) (2015), Competitividad de la minería chilena del cobre [en línea] [https://www.cochilco.cl/Listado20Termtico/2015071520Competitividad20de20la20mineria20\(VF-2017\).pdf](https://www.cochilco.cl/Listado20Termtico/2015071520Competitividad20de20la20mineria20(VF-2017).pdf).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística Colombia. (2021). Estadísticas de Comercio Internacional. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional>
- Diario La República. (2021). Según la Cepal, Oede, FMI y el Banco Mundial, el PIB mundial crecerá más de 4,1. Obtenido de <https://www.larepublica.co/globoeconomia/organismos-internacionales-estiman-que-pib-mundial-crecera-mas-de-41-durante-2021-3147615>
- EcoCómputo (2019a), ¿Que sucede con los residuos recolectados? [en línea] <http://www.ecocomputo.com/como-lo-hacemos#block-views-seccion-tres-clh-block>.
- _____. (2019b), ¿Cómo lo recolectamos? [en línea] <https://ecocomputo.com/como-lo-hacemos#block-views-seccion-cuatro-clh-block>.
- _____. (2019c), Informe de Gestión 2018 [en línea] <http://ecocomputo.com/sites/default/files/INFORME-DE-GESTION-ECOCOMPUTO-2018.pdf>.
- Duque, I. (2019), Proyecto operativo para establecer un sistema de gestión de RAEE en Chile.
- E2BIZ (2019), Antecedentes para la elaboración de análisis económico de metas de recolección y valorización para el producto prioritario “Aparatos Eléctricos y Electrónicos” contenido en la Ley 20.920, Santiago, Chile.
- Hester, R.E. y R.M. Harrison (2009), Electronic Waste Management en *Issues in Environmental Science and Technology*, 24, doi: 10.1039/9781847559197.
- EMPA (2012), La Gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos: el Modelo Suizo. Montevideo, Uruguay [en línea] https://www.mvotma.gub.uy/ambiente/gestion-de-residuos-y-sustancias/residuos-solidos-especiales/residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos/item/download/7187_210ed952f7546b375320bae88e514c6a.
- Environmental Affairs and Recycling Office (2018), FY 2017 Enforcement Status of the Home Appliances Recycling Law and Recycling Statistics for Manufacturers and Importers, Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) [en línea] https://www.meti.go.jp/english/press/2018_06/0607_001_00.html.
- FOE (Friends of the Earth) (2010), More jobs, less waste: potential for job creation through higher rates of recycling in the UK and EU [en línea] https://www.foeeurope.org/sites/default/files/publications/foee_more_jobs_less_waste_0910.pdf.
- Forti, V., Baldé, C., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos – 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular. Obtenido de <https://www.itu.int/myitu/-/media/Publications/2020-Publications/ES---Global-E-waste-Monitor-2020.pdf>

- Fundamentos (2008), Proyecto de Ley de Gestión de RAEE, Argentina [en línea] http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/Proyecto_ley_3532_o8_filmus_argentina.pdf.
- GAIA VITARE (2010), II SEMINARIO "Lineamientos y Retos de la Gestión Integral De Residuos Peligrosos", Bogotá, Colombia [en línea] http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/documentos/mesa/raess.pdf.
- Gobierno de Colombia (2018), Decreto 284 de 2018 [en línea] <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85199>.
- Goodship, V., Stevels, A. y Huisman, J. (2019), Waste Electrical and electronic equipment (WEEE) Handbook, Second Edition [en línea] <https://www.elsevier.com/books/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee-handbook/goodship/978-0-08-102158-3>.
- Grupo Inka y Asociados SRL (2019), Las zonas industriales mejor cotizadas de Lima [en línea] <http://www.grupoinka.pe/blog/11-Las20zonas20industriales20mejor20cotizadas20de20Lima>.
- Haceb (2019), Blog Haceb [en línea] <https://blog.haceb.com/renueva-tu-nevera-y-ahorra-de-inmediato-paga-solo-5-iva/>.
- Hischier, R., Wager, P. y Gauglhofer, J. (2005), Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.003>.
- Hotta, Y., Santo, A. y Tasaki, T. (2014), EPR-based Electronic Home Appliance Recycling System under Home Appliance Recycling Act of Japan [en línea] https://www.oecd.org/environment/waste/EPR_Japan_HomeAppliance.pdf.
- INE (Instituto Nacional De Estadística) (2017), CENSO 2017, Chile [en línea] <https://www.censo2017.cl/>.
- INEI (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática) (2009), Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Total, por Años Calendario y Edades Simples 1950-2050, Boletín Especial N° 17, Lima, Perú [en línea] https://www.inei.gob.pe/media/principales_indicadores/libro_1.pdf.
- Investopedia (2019), How the Iron Ore Market Works [en línea] <https://www.investopedia.com/articles/investing/030215/how-iron-ore-market-works-supply-market-share.asp>.
- ITU-T (International Telecommunication Union) (2016), Guidelines for developing a sustainable e-waste management system, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Series L, Supplement 4.
- Johnson, M., y C. Fitzpatrick (2016), The Development of a Model to Ascertain Future Levels of Historic WEEE Arising (Historic WEEE), Environmental Protection Agency (EPA) [en línea] https://www.researchgate.net/publication/308200629_The_Development_of_a_Model_to_Ascertain_Future_Levels_of_Historic_WEEE_Arising_Historic_WEEE.
- Khetriwal, D., Krauchi, P. y Widmer, R. (2009), Producer responsibility for e-waste management: key issues for consideration - learning from the Swiss experience [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.08.019>.
- Kokkinaki, Dekker, R., J. van Nunen y Pappis, C. (1999), An Exploratory Study on Electronic Commerce for Reverse Logistics, doi:10.1080/16258312.2000.11517067.
- Kopicki, R.B. (1993), Reuse and Recycling: Reverse Logistics Opportunities, Estados Unidos.
- London South Bank University (2004), Jobs from Recycling, Local Economy Policy Unit (LEPU), UK.
- Lindhqvist, T., Manomaivibool, P. y Tojo, N. (2008), La responsabilidad extendida del productor en el contexto latinoamericano [en línea] <https://www.senado.gov.ar/upload/8210.pdf>.
- Lúmina (2019), Puntos de Recolección [en línea] https://lumina.com.co/recolectar/puntos_recoleccion.
- _____(s.f.), Informe de Gestión 2018, Bogotá, Colombia [en línea] <https://lumina.com.co/site/assets/files/requisitososal.pdf>.
- MABE (2019), Presentación Experiencia RedVerde en Colombia.
- Menikpura, S., Santo, A. y Hotta, Y. (2014), Assessing the Climate Co-benefits from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Recycling in Japan [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.040>.
- Minería Chilena (2015), Informe Tendencias de la Exploración Mundial [en línea] <http://www.mch.cl/tag/informe-tendencias-de-la-exploracion-mundial/#>.
- _____(2012a), Tendencias de la exploración mundial, Centro de Estudios del Cobre y la Minería - CESCO.
- _____(2012b), El boom minero de los países andinos [en línea] <http://www.mch.cl/reportajes/el-boom-minero-de-los-paises-andinos/>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019), Antecedentes: Política Nacional Gestión Integral de Residuos Aparatos Electrónicos, Bogotá, Colombia [en línea] http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_1.html.

- _____. (2017a), Colombia, pionero en Suramérica en implementar políticas de gestión de RAEE, Bogotá, Colombia [en línea] <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2924-colombia-pionero-en-suramerica-en-implementar-politicas-de-gestion-de-raee>.
- _____. (2017b), Política Nacional Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Bogotá, Colombia [en línea] http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/Politica_RAEE.pdf.
- _____. (s.f.), Marco Conceptual: Categorización de los aparatos eléctricos y electrónicos y los RAEE, Bogotá, Colombia [en línea] http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_1_2.html.
- _____. (s.f.), Gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), Bogotá, Colombia.
- MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) (2013), Ley 1672, Bogotá, Colombia [en línea] http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2013/ley_1672_2013.pdf.
- _____. (2010a), Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, Bogotá, Colombia [en línea] http://www.residuos electronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida.pdf.
- _____. (2010b), Resolución 1297 "Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones" [en línea] <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Resolucion-1297-de-2010.pdf>.
- _____. (2010c), Resolución 1512 "Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos y se adoptan otras disposiciones" [en línea] http://cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos20y20procedimientos20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion20151220de202010-Ago-05.pdf.
- _____. (2010d), Resolución 1511 "Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas" [en línea] <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCIC393N20151120DE202010.pdf>.
- Ministerio del Medio Ambiente (2015), Evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos de la Implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile aplicada a los aparatos eléctricos, Santiago, Chile [en línea] <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Impactos-aparatos-electricos-2014.pdf>.
- Ministerio para la Transición Ecológica y Fundación Biodiversidad (s.f.), Oportunidades de creación de empleo en la mejora de la gestión de los RAEE, España [en línea] <https://www.empleaverde.es/sites/default/files/publicaciones/creacion-empleo-raee.pdf>.
- Ministry of the Environment (2013), Policy Update from Japan, Japón [en línea] <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/japan.pdf>.
- MinTIC (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) (2019), Minería - Materiales extraídos en Colombia 2012 a 2017, Colombia [en línea] <https://www.datos.gov.co/Minas-y-Energia/Mineria-Materiales-extraidos-en-Colombia-2012-a-2017/95e9-vx89>.
- NIIF.CO (2017), DECRETO 2143 DE 2017: Reglamentado el IVA en la sustitución de neveras. Bogotá, Colombia [en línea] <https://niif.com.co/decreto-2143-2017/>.
- Osinergmin (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería) (2017), La Industria de la Minería en el Perú, Lima, Perú [en línea] https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20años.pdf.
- Pascuar Rengifo, Y., Correo Cruz, L. y Marlés Betancourt, C. (2018), Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano, *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 29(56), doi: 10.33255/2956/307.
- Portal empresarial (s.f.), Más de 180 contenedores para depositar tus residuos electrónicos, [en línea] <https://portalempresarial.org/sostenibilidad/ambiental/mas-de-180-contenedores-para-depositar-tus-residuos-electronicos/>.
- Protomastro, G. F. (2013), Minería urbana y la gestión de los residuos electrónicos. Argentina: Universidad ISALUD.
- Ravinder, H. V. (2013), Determining the optimal values of exponential smoothing constants, *American Journal of Business Education*, Vol.6, No. 3 [en línea] <https://doi.org/10.19030/ajbe.v6i3.7815>.

- RED VERDE (2019a), Protocolo de Aplicación para la Tarifa Diferencial del Impuesto sobre las Ventas IVA [en línea] <http://redverde.co/index.php/ahorrare-el-iva#tratamiento-de-datos>.
- ____ (2019b), ¿Qué electrodomésticos gestionamos? [en línea] <http://www.redverde.co/index.php/tipos-electrodomesticos>.
- ____ (2019c), Gestionar Tus Electrodomésticos Viejos [en línea] <http://www.redverde.co/>.
- ____ (2019d), Ayúdanos a cumplir nuestra meta! [en línea] <http://redverde.co/index.php/nuestra-meta>.
- ____ (2019e), Electrodomésticos gestionados por Red Verde [en línea] <http://www.redverde.co/metadatos/examples/column-drilldown/index.htm>.
- ____ (2015), RED VERDE Posconsumo de electrodomésticos Neveras: Taller sobre el Proyecto GIZ de gestión y destrucción de bancos de SAO en Colombia [en línea] http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadYServiciosEcosistemas/pdf/memorias/proyecto_GIZ_BANCOS/_6_RED_VERDE_-_TALLER_SAO_3_JUNIO.pdf.
- RELAC (Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe) (2011a), Lineamientos para gestión de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en Latinoamérica [en línea] <http://www.residuoselectronicos.net/documents/110410-documento-lineamientos-para-la-gestion-de-raee-en-la-mesa-de-trabajo-publico-privada.pdf>.
- ____ (2011b), Colombia-Creación de Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de computadores y/o periféricos", Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe [en línea] <http://www.residuoselectronicos.net/?p=2195>.
- Rodríguez, L., Gonzáles, N., Reyes, L. y Torres, A. (2013), Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque de dinámica de sistemas, *Revista S&T*, 11(24), 39-53 [en línea] https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/download/1501/1909/.
- Rogers, D. y R. Tibben-Lembke (1998), Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices, University of Nevada, Reno, Center for Logistics Management [en línea] <http://business.unr.edu/faculty/ronlembke/reverse/reverse.pdf>.
- SAEFL (2004), E-waste in Switzerland - 2001 [en línea] <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/abfall/16.pdf>.
- Sasaki, K. (2004), Examining the WEEE Management Systems in Japan and Sweden, Lund, Suecia [en línea] https://www.lumes.lu.se/sites/lumes.lu.se/files/sasaki_kohei.pdf.
- Schmidt, M. (2005), A production-theory-based framework for analysing recycling systems in the e-waste sector, Vol. 25(5): 505-524 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.008>.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México) (2016), Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por electrodomésticos al final de su vida útil [en línea] https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones_conagua/RESIDUOS20PELIGROSOS/ESTUDIO-ANALISIS2010.pdf.
- SENS eRecycling (2019a), Tariff and appliance list [en línea] <https://www.erecycling.ch/en/vrg-partner/tarife-und-geraeteliste.html>.
- ____ (2019b), SENS eRecycling life cycle [en línea] <https://www.erecycling.ch/en/e-kreislauf/sens-recyclingkreislauf.html>.
- ____ (2019c), Collection points [en línea] <https://www.erecycling.ch/en/entsorgungspartner/sammelstellen.html>.
- ____ (2018), Annual Report: A look back at an exciting 2018.
- SENS, SWICO y SLRS (2018), Reporte Técnico 2018 [en línea] https://www.swico.ch/media/filer_public/24/e6/24e6ddea-743f-4e8d-b91a-106804438364/technical_report_swico_sens_slrs_2018.pdf.
- ____ (2011), The report of the Technical Inspectorate SENS, SWICO Recycling, SLRS, Zúrich, Suiza [en línea] <http://www.rezagos.com/downloads/Informe-RAEE-SUIZA.pdf>.
- SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería) (2018), Anuario de la minería de Chile 2018, Santiago, Chile [en línea] https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2019/06/Libro_Anuario_2018_.pdf.
- Servicio Nacional de Aduanas Chile. (2021). Estadísticas COMEX. Obtenido de <https://www.aduana.cl/aduana/site/edic/base/port/estadisticas.html>
- SII. (2021). Servicio de Impuestos Internos. Obtenido de https://www.sii.cl/valores_y_fechas/dolar/dolar2021.htm
- Sinka-Khetriwal, D., Kraeuchi, P. y Schwaninger, M. (2005), A comparison of electronic waste recycling in Switzerland and in India, *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5):492-504 [en línea]

- https://www.researchgate.net/publication/222547815_A_Comparison_of_Electronic_Waste_Recycling_in_Switzerland_and_in_India.
- Soo-cheol L. y N. Sung-in (2010), E-Waste Recycling Systems and Sound Circulative Economies in East Asia: A Comparative Analysis of Systems in Japan, South Korea, China and Taiwan, *Sustainability*, 2(6): 1632-1644 [en línea] <https://www.mdpi.com/2071-1050/2/6/1632>.
- SONAMI (Sociedad Nacional de Minería) (2019), Minería metálica [en línea] <http://www.sonami.cl/v2/informacion-de-la-mineria/mineria-metalica/?lang=es>.
- SRI (Sustainable Recycling Industries) (2017), Guía práctica para el diseño sistémico de políticas para la gestión de RAEE en países en vía de desarrollo [en línea] https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2017/10/Mendez2017_Guia-RAEE-Politica_ES.pdf.
- _____(2015), Comparación de estándares RAEE de Suiza, Europa y Estados Unidos [en línea] <https://www.sustainable-recycling.org/comparacion-de-estandares-raee-de-suiza-europa-y-estados-unidos/>.
- Step Initiative (2014), Solving the E-Waste Problem [en línea] <http://www.step-initiative.org>.
- SUNAT Perú. (2021), Información de Comercio Exterior. Obtenido de <https://www.sunat.gob.pe/estadisticasestudios/informa-tributa.html#icomer>.
- SWICO (2019a), Find collection points [en línea] <https://www.swico.ch/en/recycling/recycling-and-disposal/find-collection-points/>.
- _____(2019b), Swico Recycling [en línea] <https://www.swico.ch/en/recycling/>.
- _____(2019c), Swico Recycling, Finances 2018 [en línea] <https://www.swico.ch/en/recycling/basics/swico-recycling-system/#finances-2018>.
- Tam, V. W. (2011), The Effectiveness of Electrical and Electronic Waste Recycling and its Implications to Green Building: Empirical Studies in India and Switzerland [en línea] <https://pdfs.semanticscholar.org/07d3/6e59a9551db482dde43f1d5761754594332f.pdf>.
- Tasaki, T., Terazono, A. y Moriguchi, Y. (2005), Effective Assessment of Japanese Recycling Law for Electrical Home Appliances, *Research Gate*, doi: 10.1109/ISEE.2005.1437035 [en línea] https://www.researchgate.net/publication/4147163_Effective_assessment_of_Japanese_recycling_law_for_electrical_home_appliances_four_years_after_the_full_enforcement_of_the_law.
- Unión Europea (UE) (2012), Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) Texto pertinente a efectos del EEE [en línea] <https://eurlex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32012L0019>.
- _____(2002), Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) [en línea] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX3A32002L0096>.
- UN COMTRADE (2019), Base de datos [en línea] <https://comtrade.un.org/data/>.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2013), Metal Recycling Opportunities, Limits, Infrastructure. United Nations Environment Programme.
- UNEP (United Nations Environment Programme) y UNU (United Nations University) (2009), Recycling – From E-Waste to Resources, United Nations Environment Programme y United Nations University [en línea] https://www.researchgate.net/publication/278849195_Recycling_-_from_e-waste_to_resources.
- UNESCO, OMS, ONUDI, OMPI, CEPAL (2015), Gestión Sostenible de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en América Latina [en línea] https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/ob/11/ToB110000273301PDFS.pdf.
- UNU (United Nations University) (2017), The Global E-waste Monitor [en línea] https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/Global-E-waste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf.
- _____(2015), E-waste statistics - Guidelines on classification, reporting and indicators [en línea] https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/partnership/E-waste_Guidelines_Partnership_2015.pdf.
- UNU, CBS, BIO, REC (2014), Study on Collection Rates of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) [en línea] https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Final_Report_Art7_publication.pdf.
- UNU (2018), *E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition* [en línea] http://collections.unu.edu/eserv/UNU:6477/RZ_EWaste_Guidelines_LoRes.pdf.
- UNU-IAS (2015), eWaste en América Latina: Análisis estadístico y recomendaciones de política pública [en línea] <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/11/gsma-unu-ewaste2015-spa.pdf>.

- UPME (2018), Realizar un Análisis del Potencial de Reutilización de Minerales en Colombia y Definir Estrategias Orientadas a Fomentar Su Aprovechamiento por Parte de la Industria en el País Bajo: el Enfoque de Economía Circular, Unidad de Planeación Minero-Energética, Bucaramanga, Colombia [en línea] http://www.andi.com.co/Uploads/_Documento20Análisis20Internacional.pdf.
- Velasco, M. (2008), Análisis Comparativo del Sistema de Gestión de RAEE de Cataluña Frente al de Otros Países. Hallazgos y Consideraciones Económicas y Ambientales, I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, España [en línea] <http://www.redisa.net/doc/artSim2008/gestion/A37.pdf>.
- Waste Management and Recycling Department (2015), Recycling scheme of a WEEE in Japan, Japón [en línea] <https://www.env.go.jp/en/focus/docs/files/20151112-96.pdf>.
- Wath, S., Vaidya, A., Dutt, P. y Chakrabarti T. (2010), A roadmap for development of sustainable E-waste management system in India, *Science of the Total Environment*, Vol. 409(1): 19-32 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.030>.
- Zeng, X., Yang, C., Chiang, J. y Li, J. (2016), Innovating e-waste management: From macroscopic to microscopic scales, *Science of the Total Environment*, Vol. 575, pp.1-5, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.078.
- Zimmermann, B. (2016), The Swiss approach to electrical and electronic equipment recycling – the introduction of the advance recycling fee [en línea] <https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairaeueprod/production-impactenviro-public/1e94b851f55a4ba794fc49e87d634269>.



NACIONES UNIDAS

Serie

C E P A L

Medio Ambiente y Desarrollo**Números publicados**

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en
www.cepal.org/publicaciones

171. Economía circular y valorización de metales: residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, Jacques Clerc, Ana María Pereira, Constanza Alfaro y Constanza Yunis (LC/TS.2021/151), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), agosto 2021.
170. Metodologías para el uso de factores de emisión: material particulado en depósitos de relaves abandonados, Matías Silva y Gonzalo Suazo (LC/TS.2020/92), 2020.
169. Iniciativas para transparentar los aspectos ambientales y sociales en las cadenas de abastecimiento de la minería: tendencias internacionales y desafíos para los países andinos, Annie Dufey (LC/TS.2020/48), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), mayo 2020
168. Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú, Maria Chappuis (LC/TS.2019/126), 2019.
167. Compensaciones por pérdida de biodiversidad y su aplicación en la minería: los casos de la Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú, Victoria Alonso, Mariana Ayala y Paula Chamas (LC/TS.2019/125), 2019.
166. Derechos de acceso en asuntos ambientales en el Perú: hacia el desarrollo de una actividad minera respetuosa del entorno y las comunidades, Isabel Calle (LC/TS.2018/90), 2018.
165. Derechos de acceso en asuntos ambientales en el Ecuador: hacia el desarrollo de una actividad minera respetuosa del entorno y las comunidades, Daniel Barragán (LC/TS.2017/65), 2017.
164. Derechos de acceso en asuntos ambientales en Colombia: hacia el desarrollo de una actividad minera respetuosa del entorno y las comunidades, Lina Muñoz Ávila (LC/L.4280), 2016.
163. Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras: Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú, Ángela Oblasser (LC/L.4208), 2016.
162. Emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación en el sector residuos. La economía del cambio climático en la Argentina. Ricardo Vicari, (LC/L.4090), 2015.

MEDIOAMBIENTE Y DESARROLLO

Números publicados:

- 171 Economía circular y valorización
de metales
Residuos de aparatos eléctricos
y electrónicos
*Jacques Clerc, Ana María Pereira,
Constanza Alfaro y Constanza Yunis*
170. Metodologías para el uso de
factores de emisión
Material particulado en depósitos
de relaves abandonados
Matías Silva y Gonzalo Suazo
169. Iniciativas para transparentar los
aspectos ambientales y sociales
en las cadenas de abastecimiento
de la minería
Tendencias internacionales y desafíos
para los países andinos
Annie Dufey



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)
www.cepal.org



LC/TS.2021/151